存　用

共同研究報告書
整理番号第164号

総合技術開発プロジェクト
—建設事業における施工新技術の開発—

橋梁基礎の施工における自動化技術の開発に関する
共同研究報告書

—オープンケーソン工法の自動化技術の開発—
研究開発報告書

平成９年２月

建設省土木研究所
(財)先端建設技術センター
(株)大林組
(株)奥村組
鹿島建設(株)
(株)熊谷組
(株)鴻池組
清水建設(株)
(株)白石
(株)錢高組
大成建設(株)
飛島建設(株)
日本ヒューム管(株)
(株)ピー・エス
前田建設工業(株)

Copyright ©1997 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は，土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって，本報告書の全部又は一部の転載，複製は，土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共同研究報告書
第164号 1997年2月

総合技術開発プロジェクト
—建設事業における施工新技術の開発—
橋梁基礎の施工における自動化技術の開発に関する
共同研究報告書

—オープンケーソン工法の自動化技術の開発—
研究開発報告書

建設省土木研究所
(財) 先端建設技術センター
(株) 大林組
(株) 奥村組
鹿島建設(株)
(株) 熊谷組
(株) 鴻池組
清水建設(株)
(株) 白石
(株) 錢高組
大成建設(株)
飛島建設(株)
日本ヒューム管(株)
(株) ピー・エス
前田建設工業(株)

要旨

本報告書は，建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」のうち，「橋梁基礎の施工における自動化技術の開発（オープンケーソン工法）」に関して，建設省土木研究所，財団法人先端建設技術センターおよび民間13社で共同研究を実施しその成果をとりまとめたものである。

本研究は，建設事業の高品質化，効率化，労働環境の向上を図る方策として，橋梁基礎構造物（オープンケーソン工法）の施工方法の省力化・自動化を実現させるために，プレハブ化基礎躯体の研究開発，掘削・揚土機械等の研究開発，および施工方法の研究開発を行った。その成果として各研究開発チーム毎に報告書を作成していたが，ここではそれらの報告書を取りまとめたものである。

キーワード：橋梁基礎，オープンケーソン，プレキャスト躯体，自動掘削・揚土，
自動沈設，施工技術

目　次

1．まえがき …… 1
2．研究目的 …… 2
3．共同研究参加者名簿 …… 3
4．自動化オープンケーソン工法の研究開発 …… 5
4．1　躯体の研究開発 …… 5
4．1．1　プレキャスト躯体の製作に関する研究 …… 5
4．1．2　プレキャスト部材の継手に関する研究 …… 10
4．1．3　プレキャスト躯体の挙動に関する研究 …… 15
4．1．4　プレキャスト躯体の構築に関する研究 …… 19
4．2　掘削機械等の研究開発 …… 21
4．2．1　自動水中掘削機の研究開発 …… 21
4．2．2　自動揚土機の研究開発 …… 33
4．3　沈下管理システムの研究開発 …… 38
4．3．1　研究開発の経緯 …… 38
4．3．2　自動沈下管理システムの開発 …… 43
4．4　実証施工実験 …… 47
4．4．1　実験概要 …… 47
4．4．2　工事報告 …… 52
4．4．3　実証施工実験結果 …… 67
4．5　止水壁に関する調査研究 …… 80
4．5．1　既往技術の調査 …… 80
4．5．2　自動化オープンケーソン工法における止水壁工法の提案 …… 86
4．6　まとめと今後の課題 …… 91

資料－Ⅰ　自動化オープンケーソン工法継手要素実験報告書
1．継手要素実験概要 …… 93
1．1　開発経緯 …… 93
1．2　実験概要 …… 93
2．大型継手構造実験 …… 97
2．1　実験概要 …… 97
2．1．1　実験目的 …… 97

2．1．2　実験ケース …… 97
2．1．3　実験場所、載荷装置および実験工程 …… 101
2．1．4　試験供試体と使用材料 …… 103
2．1．5　実験方法と計測項目 …… 119
2．2　実験結果および考察 …… 142
2．2．1　継手曲げ試験 …… 142
2．2．2　継手面内せん断試験 …… 151
2．2．3　継手面外せん断試験 …… 161
2．3　まとめ …… 171
2．3．1　くさび接合継手 …… 171
2．3．2　コンクリート接合継手 …… 171
3．小型せん断キー実験 …… 172
3．1　実験概要 …… 172
3．1．1　実験目的 …… 172
3．1．2　実験ケース …… 172
3．1．3　実験場所、載荷装置および実験工程 …… 175
3．1．4　試験供試体と使用材料 …… 177
3．1．5　実験方法と計測項目 …… 187
3．2　実験結果および考察 …… 197
3．2．1　試験結果 …… 197
3．2．2　評価 …… 231
3．3　まとめ …… 240
4．くさび継手内充填効果確認実験 …… 242
4．1　実験目的 …… 242
4．2　実験ケース …… 242
4．3　実験方法 …… 242
4．4　実験結果 …… 243
4．5　考察 …… 246
5．大型継手面外せん断実験 …… 249
5．1　実験概要 …… 249
5．1．1　実験目的 …… 249
5．1．2　実験ケース …… 249
5．1．3　実験場所、載荷装置および実験工程 …… 251
5．1．4　試験供試体と使用材料 …… 253
5．1．5　実験方法と計測項目 …… 253

5．2　実験結果および考察 …… 263
5．2．1　試験結果 …… 253
5．2．2　評価 …… 275
5．3　まとめ …… 277

資料－Ⅱ　自動化オープンケーソン工法プレキャスト躯体システム
構築方法確立のための追加試験報告書
1．概要 …… 280
2．再製作・組立試験の概要 …… 283
3．基準二段リング方式組立試験の概要 …… 286
4．浮き上がり防止試験の概要 …… 292
5．結論 …… 296

資料－Ⅲ　自動化オープンケーソン工法・自動沈下管理システム技術資料
1．概要 …… 303
2．自動沈下管理システムの構成 …… 306
2．1　ハードウェア構成 …… 306
2．2　ソフトウェア構成 …… 314
3．圧入設計 …… 319
3．1　圧入力の設計 …… 319
3．2　沈下抵抗力の評価 …… 320
3．3　圧入反力工の設計 …… 324
4．沈設管理 …… 326
4．1　標準沈設作業フロー …… 326
4．2　自動沈下管理システムによる沈設管理 …… 326
4．3　各種地盤における沈設管理 …… 333
5．操作の手順と管理 …… 335
5．1　制御盤操作手順 …… 335
5．2　データの管理 …… 344

資料－Ⅳ　止水壁調査研究報告書
1．概要 …… 349
1．1　研究概要 …… 349
1．2　研究フロー …… 350
2．既往技術の調査 …… 351

2．1　文献調査 …… 351
2．2　アンケート調査 …… 355
2．3　止水壁の設計指針調査 …… 392
3．止水壁の選定と施工概要 …… 399
3．1　止水壁の概要 …… 399
3．2　止水壁の種類と選定 …… 399
3．3　解体および撤去方法 …… 403
3．4　鋼矢板止水壁 …… 405
3．5　プレキャストＲＣ止水壁 …… 408
3．6　現場打ちＲＣ止水壁 …… 410
3．7　その他の止水壁 …… 412
4．実施例 …… 413
4．1　プレキャストＲＣ止水壁 …… 414
4．2　現場打ちＲＣ止水壁 …… 438
4．3　鋼矢板止水壁 …… 486
4．4　鋼殻等の特殊な止水壁 …… 494
5．「自動化オープンケーソン工法」における止水壁工法の提案 …… 504
5．1　自動化オープンケーソン工法における止水壁必要機能の抽出 …… 504
5．2．適応材料の選定 …… 504
5．3．止水壁部材の規格仮定 …… 506
5．4．止水壁工法の比較検討 …… 508
5．5．自動化オープンケーソン工法における止水壁工法の提案 …… 517
6．資料集
6．1　文献集 …… 521
6．2　止水壁に関する特許 …… 525

資料－Ⅴ　その他の研究報告書 …… 529

1．まえがき

近年、建設事業においては、高度な品質、高い精度の施工が求められている一方で、土木・建築施工現場の苦渋作業や危険作業から労働者を解放することが望まれている。また、建設業就業者の高齢化、熟練労働者の減少等の問題は深刻な状況になりつつある。

このため、建設事業の高品質化、効率化、労働環境の向上を図る方策として、土木・建築施工の自動化、合理化および高度化のための新技術を早急に開発し、施工現場に的確に普及させる必要が高まっている。

このような状況を踏まえ、平成２年度から６年度にかけて総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」の一環として、「橋梁基礎の施工における自動化技術の開発」に取り組んできた。

本共同研究は、この研究課題の一つとして、オープンケーソン工法をとりあげ、施工方法の省力化・自動化を実現させるために、プレハブ化基礎躯体の研究開発、掘削機械等の研究開発および施工方法の研究開発に関して、建設省土木研究所、(財)先端建設技術センターおよび民間１３社により実施してきたものである。

なお、本報告書は「共同研究報告書第１６３号 設計・施工マニュアル(案)」と「本書 研究開発報告書」の分冊となっているため、必要に応じて参照されたい。

※）各資料は平成６年２月改訂の道路橋示方書(日本道路協会)を基に記述している。

2．研究目的

オープンケーソン工法は、場所打ちの鉄筋コンクリート構造で躯体を構築するとともに、クラムシェルバケットやハンマーグラブバケットによって内部土を掘削し、圧入沈下させることにより、ケーソンを所定の深さまで沈設する工法である。オープンケーソンは、大型基礎としては施工方法がシンプルで経済的であるうえに、大深度施工においても圧気や安定液が不要であるため、橋梁基礎等の施工方法として多数用いられている。

しかし、躯体構築においては現場での鉄筋や型枠の組立、コンクリート打設や養生などの作業が伴うため、作業員数や工期などの面ではまだ十分に合理化されていない。掘削・圧入沈下においては刃口下が確実に掘削できないため、沈設精度の低下や沈下不能に陥ったり、また、ケーソン内地盤の余堀りで周辺地盤の沈下を招いたりするなど施工管理上の問題点が指摘されている。

そこで、オープンケーソン工法に関する技術開発では、これらの問題点を解決するために躯体のプレキャスト化、掘削・揚土および圧入沈下の自動化技術を導入し、現場施工の大幅な省力化と工期短縮を図り、同時に高い施工精度を確保することを目標とした。

躯体にプレキャスト部材を用いた「プレキャスト躯体システム」、施工の高度化や効率化、省人化を目的として掘削・揚土を連動して自動で行う「自動掘削・揚土システム」、そして各種センサーの情報を基にケーソンの圧入沈下・姿勢制御を自動で行う「自動沈下管理システム」の開発を行った。これら３つのシステムを組み合わせて全体システムを構築しており、これを総称して「自動化オープンケーソン工法（ＳＯＣＳ：Super Open Caisson System）」と呼ぶ。平成５年度には、本システムの沈下掘削性能の検証およびプレキャスト部材による躯体構築の実証のため、実大ケーソンによる実証施工実験を行った。

また、本研究では躯体にプレキャスト部材を用いる自動化オープンケーソン工法と目的の合致した止水壁工法、すなわち止水壁とケーソン躯体との接続や圧入後の撤去が容易で、なおかつ施工の安全性が高い止水壁工法について検討を行った。

3．共同研究参加者名簿

機関・会社名	氏　名	役　職　名
建設省土木研究所	岡崎治義	材料施工部　部長
	藤沢侃彦	企画部　先端技術開発研究官
	中野正則	構造橋梁部　基礎研究室　室長
	高木　繁	〃　〃　研究員
	七澤利明	〃　〃　研究員
	大越盛幸	〃　〃
	田坂幹雄	〃　〃
(財)先端建設技術センター	酒井　孝	専務理事
	佐々木　康	常務理事
	小川敏治	研究第二部　部長
	芝野章夫	〃　主任研究員
(株)大林組	菊池禎二	土木技術本部　設計第一部長
	下山　尚	〃　設計第三部　副部長
	吉田公宏	〃　〃
(株)奥村組	氏本幸伸	技術本部　技術開発部長
	岡島幸雄	技術本部　技術開発部　課長
	東　邦和	技術研究所　主任研究員
鹿島建設(株)	野間正治	土木技術本部　副本部長兼工務部長
	石川矩寿	〃　工務部　担当部長
	大谷義信	〃　技術部　次長
(株)熊谷組	石崎英夫	技術本部　土木設計部長
	四釜成実	〃　〃　設計第1ｸﾞﾙｰﾌﾟ課長
	江島裕章	〃　〃
(株)鴻池組	伊藤克彦	土木本部　東京技術部　部長
	二木文雄	東京本店土木部　副部長
	谷　善友	土木本部　東京技術部　主任
	藤井由之	〃　〃
清水建設(株)	小野武彦	土木本部　技術第一部　部長
	久保田年久	〃　〃　副部長
	清水文夫	〃　〃　ｸﾞﾙｰﾌﾟ長
	中辻栄慎	〃　〃

(株)白　石	石　井　通　夫	技術本部　開発技術部　担当部長
	藤　田　宏　一	〃　〃　部長
	佐久間　敏　夫	機械事業部　部長
(株)銭高組	鶴　岡　胤　英	技術研究所　副所長
	吉　川　雄　三	土木本部　ＰＣ部　次長
	鈴　木　眞　之	〃　〃　技術課　課長補佐
大成建設(株)	伊　佐　　秀	技術本部　技術開発第二部長
	喜　志　恭　博	土木本部　土木技術部　技術室　副部長
	武　居　裕　史	安全機材本部　機械部施工技術室　次長
飛島建設(株)	猪　俣　　正	技術本部　研究開発部長
	長谷川　昌　弘	〃　技術研究所　所長
	小　林　延　房	土木本部　技術部　設計第一課長
	寺　澤　正　人	〃　〃　設計第一課　主任
日本ヒューム管(株)	岩　沙　政　治	営業本部　部長
	津　田　和　義	技術本部　技術工事部　課長
	小　山　信　夫	〃　〃　課長
(株)ピー・エス	阿　部　宗　人	開発技術部　部長
	丹　羽　芳　郎	東京支店土木技術部　部長
	岩　根　秀　春	開発技術部　次長
	中　井　将　博	〃　主任研究員
前田建設工業(株)	河　原　　進	土木設計本部　土木設計第一部　副部長
	蛇　谷　富　夫	施工本部　機械部　次長

※所属は，平成６年３月現在

4．自動化オープンケーソン工法の研究開発

4．1　躯体の研究開発

4．1．1　プレキャスト躯体の製作に関する研究

（1）プレキャスト躯体の製作

1）プレキャスト化の現状

近年、建設工事においては、高度な品質、高い精度の施工が求められる一方で、熟練労働者の減少、就業者の高齢化等が問題とされている。

このような情勢のなかで注目されている解決策のひとつが、プレキャスト化による生産性の向上である。建設工事におけるプレキャスト化は、施工現場で打設されていたコンクリート部材等を工場、あるいは建設現場に近い作業ヤード等であらかじめ運搬・施工可能な大きさのブロックとして製作しておき、施工現場でこのブロック相互を接合することで部材を構築しようとする合理化手法であり、高品質化を可能にするとともに現場での作業を簡略化することが可能となる。このようなプレキャスト部材の使用は建築分野ではかなり普及しており、あらかじめ工場で製作した外壁等のパネル部材を建設現場で組み立てて、建築物を構築する工法を用いるのが常識となっている。土木分野においてはＰＣげた、コンクリート舗装版、ボックスカルバート、シールド工法の覆工用セグメント、土留め壁の矢板、地中連続壁、杭などがあり、これらはかなりの施工実績があるものの、いずれもプレキャスト化の使用頻度はまだ低い。

現在よく使用されている橋梁下部工の施工におけるプレキャスト製品の代表的なものとしてＰＨＣ杭、ＰＣウェル等が挙げられる。

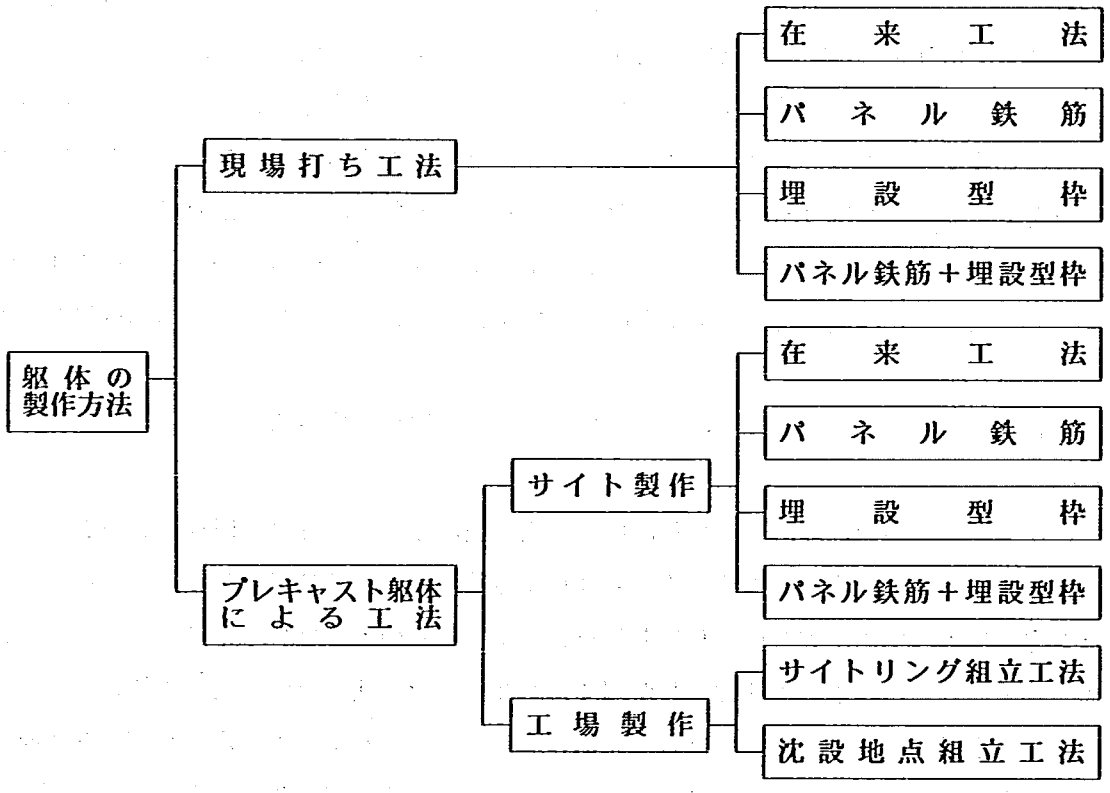
ＰＣウェル工法は工場で遠心力締固め製法または振動締固め製法により作られた円筒形のコンクリート製の単体ブロックを施工地点で中掘り工法で沈設させながら積み重ね、その都度ＰＣ鋼棒で接続し、ポストテンション方式によって鉛直方向にプレストレッシングするもので、プレキャスト製品としては比較的大口径の基礎工法である。この工法は、わが国では昭和４４年に北海道開発局磯谷橋の下部工事に用いられて以来、中小規模の構造物の基礎として、急速施工を要求される現場や水深が深く施工条件の厳しい現場などで多く用いられており、これまでに２０００基近い実績がある。しかし、工場製品であるＰＣウェル工法は、運搬上の制限から直径３．５ｍ程度までしか使用することができないため、近年の大型化へのニーズに対応できずこの工法の普及を妨げている。

このような運搬上の制限を避けるため建設現場近くに大型部材の製作ヤードを設置し、そこで製作したプレキャストウェルを大型クレーンで施工地点へ移送する工法を取り入れた事例として、広島大橋の基礎がある。また類似工法で横浜ベイブリッジの大型基礎なども施工されているものの、大型構造物への適用はほとんど行われていないのが現状である。

2）躯体の製作方法の分類と比較

プレキャストの概念を「あらかじめ構築場所と異なる場所において構造物の一部としての形状および機能を有した部材あるいはブロック、ユニットを製作して、構築場所に移動して架設、設置、あるいは組立を行い構造物の構築を行うこと」ととらえた。従って製作場所は工場に限定されるものではなく建設現場内の製作ヤードも考えられ、また対象材料もコンクリートだけでなくパネル鉄筋あるいは、埋設型枠も含めて考えた。

これらより躯体の製作方法を整理分類したものを図－４．１．１に示す。また各々の製作方法について、品質、精度、工期、経済性等に対する比較検討結果を表－４．１．１に示す。



図－４．１．１　躯体製作方法の分類

表－４．１．１より、在来オープンケーソン工法に対し、プレキャスト躯体を用いた工法は、経済性の面で劣っているが、

①　工期の短縮が可能である。

②　品質・精度の向上が期待できる。

さらに、部材を工場で製作する場合は、

③　省人化の可能性が高く、労働者不足への対応や作業環境の改善が可能である。

等がメリットとして挙げられる。

表－４．１．１　躯体製作方法の比較表

	現場打ち工法				プレキャスト躯体による工法					
					サイト製作				工場製作	
	在来工法	パネル鉄筋	埋設型枠	パネル鉄筋＋埋設型枠	在来工法	パネル鉄筋	埋設型枠	パネル鉄筋＋埋設型枠	サイトリング組立工法	沈設地点組立工法
躯体製作の概要	鉄筋加工組立 ↓ 型枠設置 ↓ 生コン打設 ↓ 養生 ↓ 型枠撤去 ↓ 躯体完成	パネル鉄筋組立 ↓ 型枠設置 ↓ 生コン打設 ↓ 養生 ↓ 型枠撤去 ↓ 躯体完成	鉄筋加工組立 ↓ 埋設型枠設置 ↓ 生コン打設 ↓ 養生 ↓ 躯体完成	パネル鉄筋組立 ↓ 埋設型枠設置 ↓ 生コン打設 ↓ 養生 ↓ 躯体完成	鉄筋加工組立 ↓ 型枠設置 ↓ 生コン打設 ↓ 養生 ↓ 型枠撤去 ↓ ブロック完成 ↓ 沈設地点へ横持ち移動 ↓ 躯体構築 ↓ 躯体完成	パネル鉄筋組立 ↓ 型枠設置 ↓ 生コン打設 ↓ 養生 ↓ 型枠撤去 ↓ ブロック完成 ↓ 沈設地点へ横持ち移動 ↓ 躯体構築 ↓ 躯体完成	鉄筋加工組立 ↓ 埋設型枠設置 ↓ 生コン打設 ↓ 養生 ↓ ブロック完成 ↓ 沈設地点へ横持ち移動 ↓ 躯体構築 ↓ 躯体完成	パネル鉄筋組立 ↓ 埋設型枠設置 ↓ 生コン打設 ↓ 養生 ↓ ブロック完成 ↓ 沈設地点へ横持ち移動 ↓ 躯体構築 ↓ 躯体完成	プレキャストブロック搬入 ↓ 沈設地点サイトでリングに組立 ↓ 沈設地点へ横持ち移動 ↓ 躯体構築 ↓ 躯体完成	プレキャストブロック搬入 ↓ 沈設地点で組立 ↓ 躯体完成
品質・精度	△	△	△	△	○	○	○	○	○	○
工期	×	△	×	△	○	○	○	○	○	○
経済性	○	△	△	×	△	△	×	×	×	×
自動化への対応	×	△	△	△	△	△	△	△	△	○
標準化のメリット	×	△	△	△	△	△	△	△	○	○
省人化の可能性	×	△	△	○	×	△	△	○	○	○

凡例）○：向上・可能性・メリットが大いに期待できる。△：やや期待できる。×：ほとんど期待できない。

（2）在来オープンケーソン工法との比較

当開発の位置づけをより明確にする目的から、図－４．１．２に示す躯体製作方法のうち、おもな６タイプについての直接工事費、工期、現場労働者数を算出し、在来オープンケーソン工法と比較した。

各比較項目に対する検討結果を図－４．１．３～４．１．５にまとめて示す。これらを要約すると次の通りである。

在来オープンケーソン工法に比べて、他の５タイプによる場合

① 直接工事費は１．３～１．７倍程度高くなる。

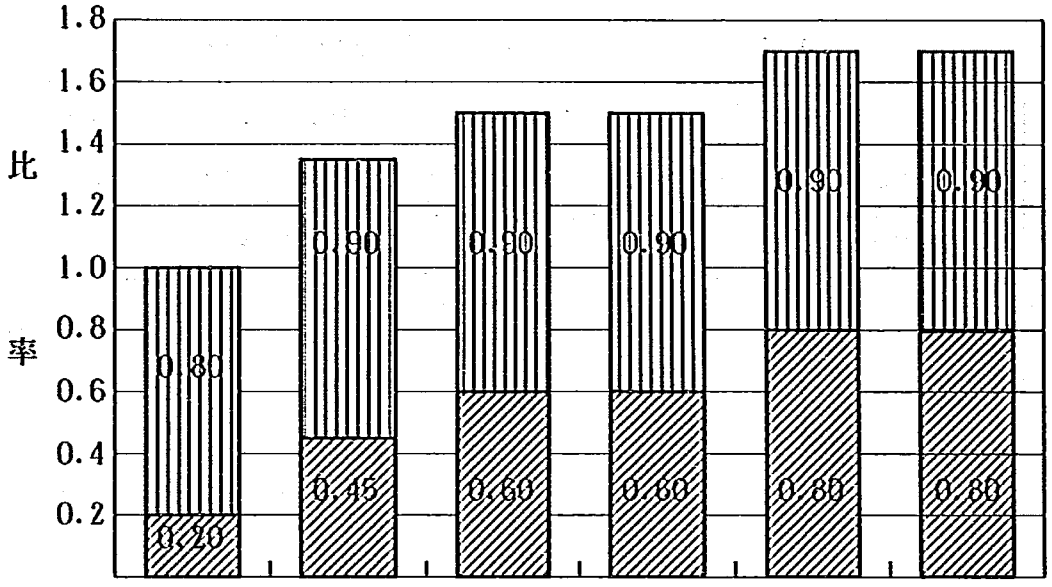
② 工期は４０％以上短縮できる。

③ 現場労働者数は、躯体のブロックを現場サイトで製作するタイプでは、ほぼ同数となり、パネル鉄筋と埋設型枠を使用する現場打ち躯体と工場製作ブロックで構成する躯体の場合は、４０％程度減少できる。

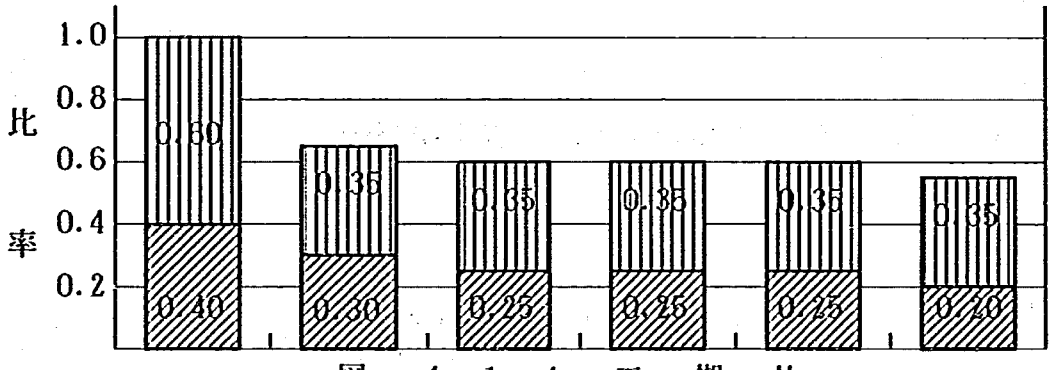
またプレキャスト部材を工場で製作する場合は、躯体製作ヤードを必要としないため、狭隘な作業スペースでの施工が可能であること等がメリットとして挙げられる。

当システムではプレキャストブロックを沈設地点で組み立てる工法を採用している。

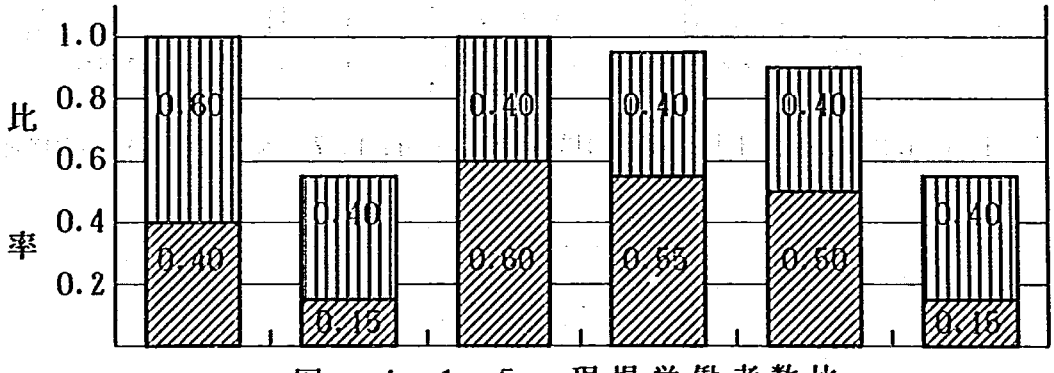
掘削沈下	在来ｵｰﾌﾟﾝｹｰｿﾝ工法	全自動水中掘削機による圧入先行方式				
躯体構築	現場打ち工法		プレキャスト躯体工法			
	鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ構造		ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ構造			
	沈設地点		沈設現場サイト製作			工場製作
	在来ｵｰﾌﾟﾝｹｰｿﾝ工法	ﾊﾟﾈﾙ鉄筋＋埋設型枠	普　通	ﾊﾟﾈﾙ鉄筋	ﾊﾟﾈﾙ鉄筋＋埋設型枠	製品で現場搬入
case	case-1	case-2	case-3	case-4	case-5	case-6



図－４．１．３　直接工事費比



図－４．１．４　工　期　比



図－４．１．５　現場労働者数比

4．1．2　プレキャスト部材の継手に関する研究

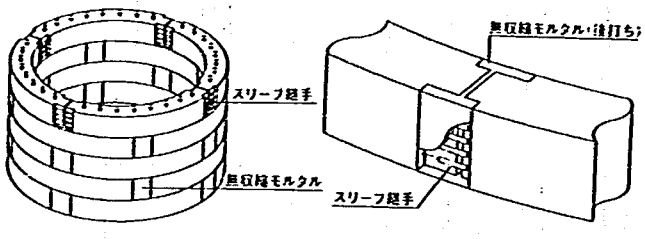
（1）プレキャスト部材の継手方法の検討

道路橋示方書など現在のケーソンの設計法では、全断面が現場打ち鉄筋コンクリートで打設された躯体を前提としており、これらの基準を適用するためには、継手部における剛性・耐力が継手のない一体の部材と同等である必要がある。水平継手はＰＣウェルと同様にＰＣ鋼棒による緊張とし、鉛直継手は、経済性・施工性等を考慮して比較検討した。検討結果を表－４．１．２に示す。表－４．１．２より選定したコンクリート接合継手およびくさび接合継手の構造概要を図－４．１．６、図－４．１．７に示す。

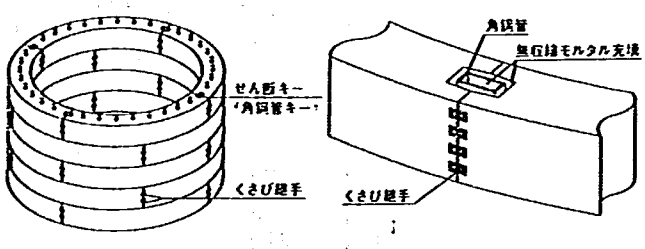
表－４．１．２　プレキャスト部材継手方法の選定比較表

	コンクリート接合継手	溶接継手	くさび接合継手	プレストレス接合継手
継手方法の概要	接合する部材端部の鉄筋をスリーブなどの機械的継手で接合し、接合部をモルタルで充填	接合する部材端部に仕切鉄板を設け両端部を溶接し、この溶着金属断面により外力に抵抗	くさびの原理にて、あらかじめ埋め込んだC型金具にH型くさびを打ち込んで本体の連続性を確保	接合面に接着剤を塗布して部材を接合し、円周方向に配置したシース内にＰＣ鋼材を挿入、定着部で緊張
耐力・剛性	◎	◎	○	◎
品質	○	△	○	◎
設計法の明確さ	○	○	○	△
施工の簡易さ	○	△	◎	○
工期	○	△	◎	○
経済性	◎	△	◎	△
総合評価	◎	△	◎	○

凡例）◎：大いに優れている、○：優れている、△：やや問題あり



図－４．１．６コンクリート接合継手の構造



図－４．１．７　くさび接合継手の構造

（2）継手構造に関する要素実験の経緯

表－４．１．２よりコンクリート接合継手およびくさび接合継手が有効な継手方法と考えられる。そこで両継手に対し曲げおよび面外・面内せん断力を想定した静的載荷試験を行い、継手の特性を把握することとした。

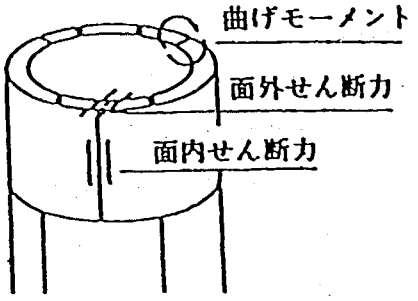
平成３年度には、図－４．１．８に示す３方向の断面力に対する大型継手構造実験をおこなった。実験の概要を図－４．１．９に示す。

実験の結果、コンクリート接合継手はほぼ本体部と同等の耐力・剛性を有するが、くさび接合継手はせん断に対して初期段階にスベリが発生することが確認された。

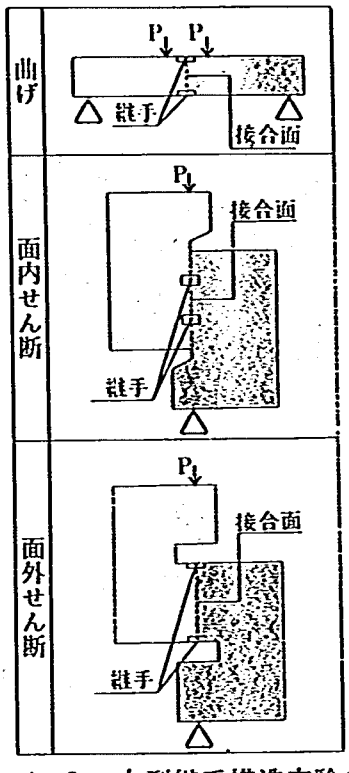
しかし、くさび接合継手は施工性の面で十分にメリットのある継手であるため、せん断キーを別途設置してせん断に対する改良を行い、実用化を検討することとした。

平成４年度には、適切なせん断キーの選定を目的とした小型せん断キー実験を行った。その結果４種類のせん断キーのうち、耐力・剛性に優れプレキャスト部材の構築性も良好な角鋼管（＋モルタル）を採用することとした。

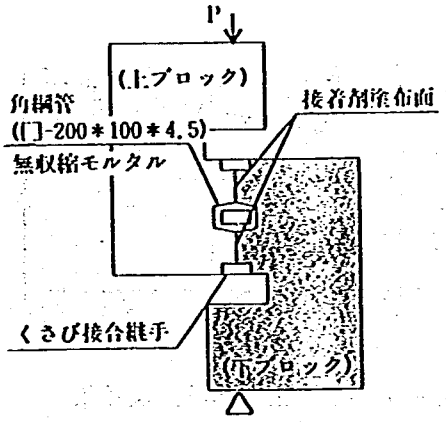
平成４年度はさらにくさび接合継手と角鋼管（＋モルタル）の複合継手の耐力・剛性を評価するため、図－４．１．１０に示すせん断試験を実施した。試験の結果、複合継手の供試体は継手のない供試体とほぼ同等の耐力・剛性を有し、せん断キーの有効性が確認された。



図－４．１．８　継手の断面力



図－４．１．９　大型継手構造実験の概要



図－４．１．１０　複合継手の試験概要

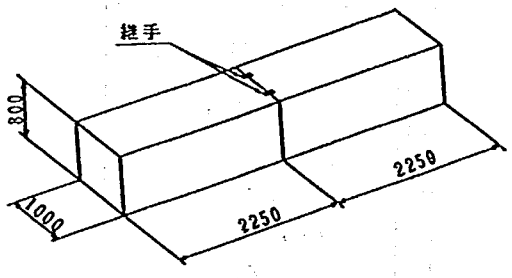
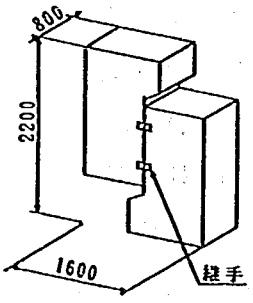
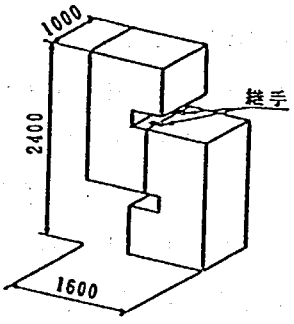
（3）大型継手構造実験

平成３年度、４年度に行った大型継手構造実験では、直径８ｍ程度のオープンケーソンの側壁と同じ厚さの供試体を用いた。供試体の形状寸法は継手の種類によって若干異なるが、概略形状寸法を図－４．１．１１に示す。

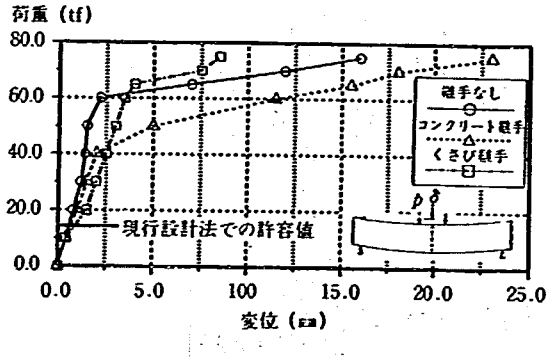
継手体はコンクリート接合継手、くさび接合継手、継手を有しないものを加えた３種類とし、それぞれに３方向の断面力を作用させることとした。平成３年度は９供試体による実験を行った。

くさび接合継手については面外せん断に対してくさびのスベリが発生したため、平成４年度に角鋼管キー（＋モルタル）を加えて複合継手とした。実験は２供試体（接着剤あり、なし）について行った。

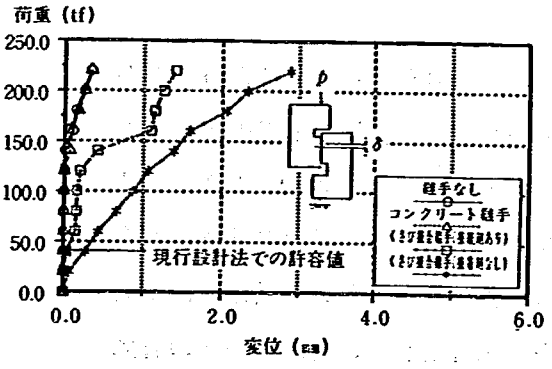
主な結果を、図－４．１．１２および図－４．１：１３に示す。

継手数	３ケース	３ケース	３ケース
概要			
作用力	曲　げ	面内せん断	面外せん断

図－４．１．１１　供試体の概略形状寸法



図－４．１．１２　曲げ試験結果

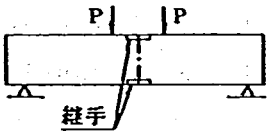
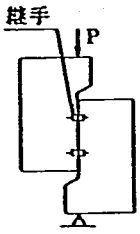
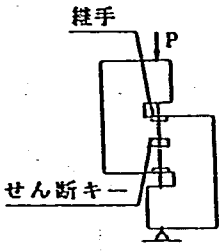


図－４．１．１３　面外せん断試験結果

コンクリート接合継手およびくさび接合継手の耐力、剛性の試験結果を継手のない場合と比較すると、表－4．1．3となる。

3方向の断面力に対して、耐力・剛性が継手のない場合と比べて必ずしも全ては同等でない。しかしプレキャスト部材は千鳥組みで構築するため、千鳥組み効果で不足分を負担することは可能であり、2種類の継手は十分適用しうると考えられる。

表－4．1．3　大型継手構造実験
（継手のない場合と比較した耐力・剛性）

	供　試　体	コンクリート接合継手	くさび接合継手
曲げ試験		耐力：ほぼ同等 剛性：ほぼ同等	耐力：ほぼ同等 剛性：ほぼ同等
面内せん断試験		耐力：約1／2 剛性：ほぼ同等 プレキャストブロックの千鳥組効果で負担	耐力：約1／3 剛性：劣る プレキャストブロックの千鳥組効果で負担
面外せん断試験		耐力：ほぼ同等 剛性：ほぼ同等	せん断キーのある場合 耐力：ほぼ同等 剛性：ほぼ同等 せん断キーとして角鋼管キーを選定

（4）小型せん断キー実験

くさび接合継手の面外せん断に対し、せん断キー設置による改良を図った。適切なせん断キーを選定するため表－4．1．4に示す4種類（7供試体）の構造について単純せん断試験を行った。

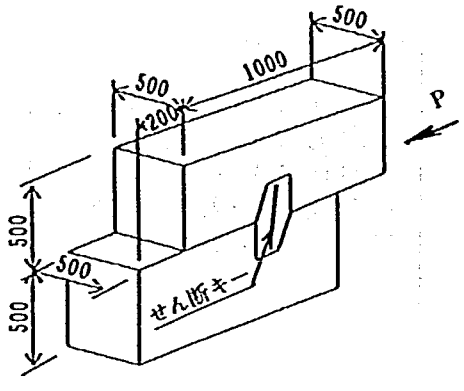
供試体の概略寸法を図－4．1．14に示す。

試験の結果は図－4．1．15に示すようにNo5（鋼管＋モルタル）およびNo6，7（コンクリートほぞ）が耐力、剛性ともに優れていることがわかった。

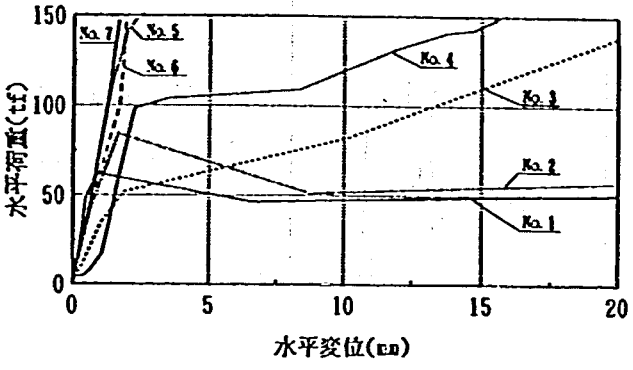
コンクリートほぞ構造の場合、プレキャスト部材の構築時に最後の部材が効率的に設置できるか懸念されるため、本研究では角鋼管（＋モルタル）をせん断キーとして選定した。

表－4．1．4　せん断キーの構造

構　造	供試体	キー材料
	NO．1 NO．2	PL200*6 PL300*6
	NO．3	H 200*100
	NO．4 NO．5	□125*75 □200*100
	NO．6 NO．7	鉄筋D13*3 鉄筋D13*6



図－4．1．14供試体の概略寸法
（No1，2　供試体の場合）



図－4．1．15小型せん断キー試験結果

（5）実験結果のまとめ

水平継手はＰＣウェルと同様にＰＣ鋼棒による緊張とし、鉛直継手は、経済性・施工性等を考慮してコンクリート接合継手およびくさび接合継手を選定した。

試験の結果、コンクリート接合継手は特に問題はなく、また、くさび接合継手も角鋼管を面外せん断力に対するせん断キーとして設置することにより、有効な継手となりうることが確認できた。

4．1．3　プレキャスト躯体の挙動に関する研究

（1）検討方法

曲げおよびせん断に対する継手耐力・剛性については試験により確認したが、プレキャスト部材により組み立てられたケーソン躯体全体の挙動に継手部がどのように影響するかを検討する必要がある。これは、現行の設計法を適用するためには継手を有するケーソンであっても、継手の無いケーソンと同等の挙動であることが要求されるためである。

そこで、ケーソン全体の挙動および断面力に対する継手部の影響を把握するため、３次元ＦＥＭ解析によるケーススタディを実施した。

解析ケースは、継手の無い場合(CASE-1)、水平継手のみ有る場合(CASE-2)および水平・鉛直両継手の有る場合(CASE-3)の３ケースとし、CASE-1の解析結果とCASE-2，CASE-3の解析結果がそれぞれどのように変化するかを比較した。

（2）解析条件

１）ケーソン一般構造および土質条件

設定したケーソン一般構造および土質条件を図－４．１．１６に示す。

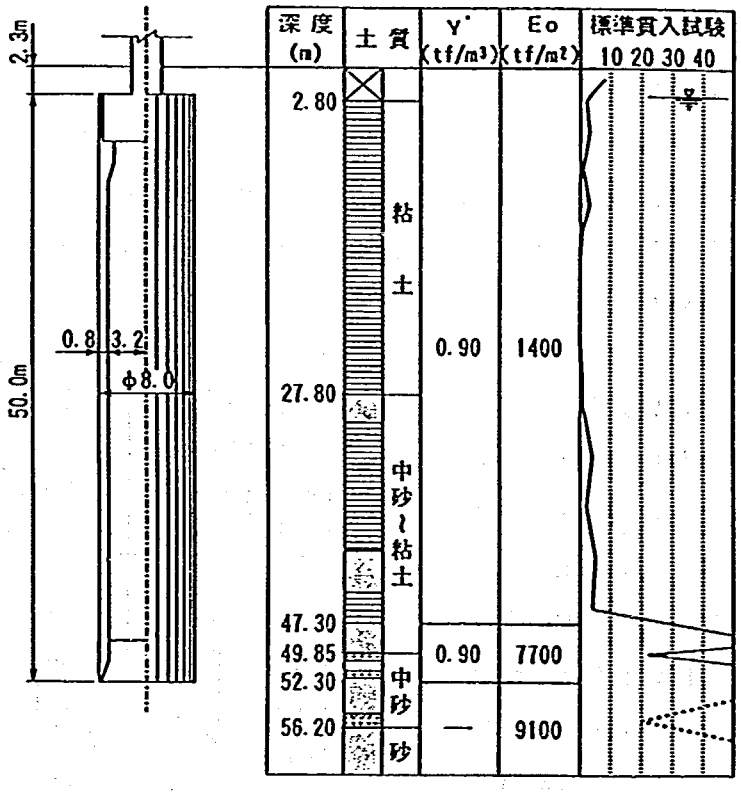
なお、躯体コンクリートは、設計基準強度σ_{ck}＝４００kgf/cm²とし、ヤング係数はE_c＝３．１×１０⁶tf/m²、ポアソン比はν＝０．１６７ とした。

２）解析モデル

モデルの直径は壁の部材中心軸の直径７．２ｍである。

プレキャスト部材は円周方向４分割、部材高１．０ｍとした。

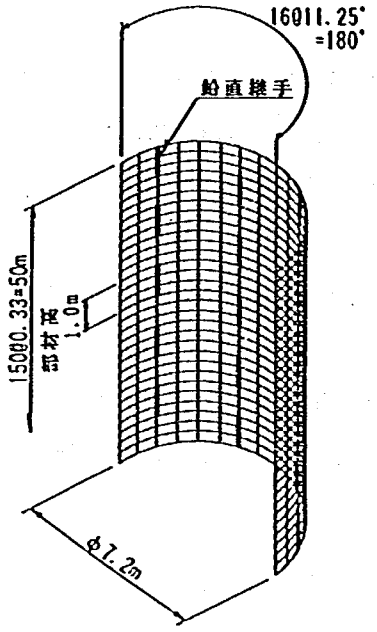
解析には３次元のシェル要素を用い対称性を考慮して１/２モデルとした。



図－４．１．１６　ケーソン一般構造および土質条件

有限要素分割は、図－４．１．１７に示すように、円周方向１６分割、鉛直方向１５０分割とした。

また、ケーソンの最上部および最下部は、頂・底版によって十分に剛であると考えられるため、円形断面保持の条件を与えた。



図－４．１．１７　有限要素分割

表－４．１．５　荷重条件

自　重		γ_c = 2.5 tf/m³
土圧	0～-15m* 三角形分布	P_s=0～6.75 tf/m²
	-15～-50m* 一様分布	P_s = 6.75 tf/m²
水圧	0～-4m* 三角形分布	P_w=0～4.00 tf/m²
	-4～-50m* 一様分布	P_w = 4.00 tf/m²
PC荷重		σ_{ce}= 200 tf/m²
浮　力		P_u = 50 tf/m²'
上部荷重	鉛直力	V = 2000 tf
	水平力	H = 500 tf
	モーメント	M = 7500 tf·m

* ケーソン天端からの深度

3）荷重条件

解析に用いた荷重を表－４．１．５に示す。荷重の算出方法は原則として道路橋示方書に準拠した。

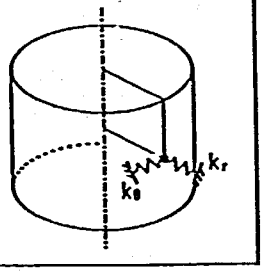
ただし、土圧については道路橋示方書では地震時の土圧をケーソン前面および背面に作用させない考え方に対し、本解析では軸対称分布荷重として作用させた。

4）地盤バネ

地盤バネは、道路橋示方書に従い算定し、線形バネとした。地盤バネ定数を表－４．１．６および表－４．１．７に示す。

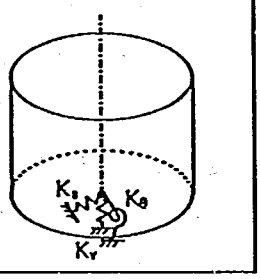
なお、側部地盤バネは半径方向の直バネ(K_r)および接線方向のせん断バネ(K_θ)とし、せん断バネは道路橋示方書で示されれているケーソン側面の分担分２０％とした(K_θ＝０．２０K_r)。

表－４．１．６　側部バネ定数

	0～-45m* 三角形分布	-45～-50m* 一様分布
k_r	416 tf/m³	5218 tf/m³
k_θ	83 tf/m³	1044 tf/m³
モデル図		

* ケーソン天端からの深度

表－４．１．７　底部バネ定数

	中心集中バネ
K_s	86.7 × 10³ tf/m
K_v	259.6 × 10³ tf/m
K_θ	1039.0 × 10³ tf·m/rad
モデル図	

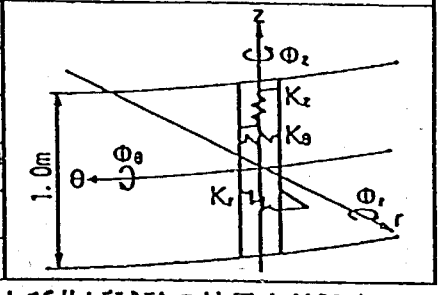
5）継手バネ

水平継手のバネは、鉛直方向に圧縮力が作用した場合には剛バネとし、引張力が作用した場合には継手面が剥離する（バネ定数＝０）非線形バネとした。

また、鉛直継手のバネは継手の面内・面外せん断試験および曲げ試験の結果より、くさび接合継手に対して表－４．１．８のように設定した。

表－４．１．８　鉛直方向継手のバネ定数

		設定値(継手1.0m当り)	モデル図
直バネ	K_z	11.0 × 10^3 tf/m *1	
	K_r	140.0 × 10^3 tf/m *1	
	K_θ	∞ *2	
回転バネ	Φ_z	35.6 × 10^3 tf·m/rad *1	
	Φ_r	0 *3	
	Φ_θ	0 *3	



*1 継手の面内・面外せん断試験および曲げ試験の結果より設定
*2 CASE-1(継手無し)の結果より、θ方向の応力は圧縮力を示しており、剛バネとみなす。
*3 試験値は得られていないが、安全側に考えた。

（３）解析結果

１）ケーソンの変位

ケーソンの頂部水平変位量および鉛直変位量を表－４．１．９に示す。同表には継手の無い場合に対する各ケースの比率も示してある。継手の無い場合に対する変位量の差は、水平変位量で最大１．２％、鉛直変位量では０．３％とほとんど生じていない。したがって、水平継手および鉛直継手による変位に対する影響はほとんどなく、継手によるケーソン全体の剛性低下はないものと考えられる。

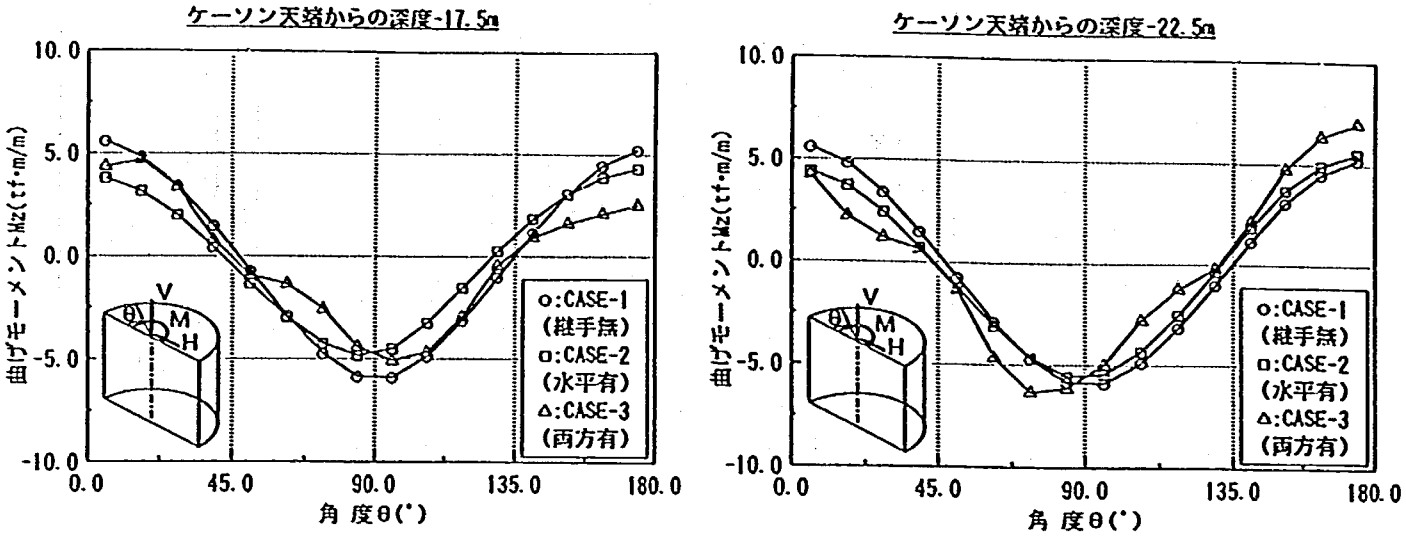
表－４．１．９　解析結果：ケーソン変位量

	継手の有無		水平変位量 (比率)	鉛直変位量 (比率)
	水平継手	鉛直継手		
CASE-1	無し	無し	6.9072 cm (1.000)	-1.8812 cm (1.000)
CASE-2	有り	無し	6.9720 cm (1.009)	-1.8760 cm (0.997)
CASE-3	有り	有り	6.9871 cm (1.012)	-1.8757 cm (0.997)

２）鉛直軸回りの曲げモーメント

ケーソン天端からの深度-１７．５ｍおよび-２２．５ｍにおける鉛直軸回りの曲げモーメント分布を図－４．１．１８に示す。この曲げモーメントは水平方向断面の躯体の設計断面力である。

各ケースで若干分布形状が違っているものの、その差は小さく、部材設計におよぼす影響はほとんどないと考えられる。また、鉛直継手を考慮したCASE-3の分布形状は、他の２ケースに比べややなめらかさに欠けるものの、鉛直継手によってモーメントの不連続は生じていないことがわかる。



図－４．１．１８　解析結果：鉛直軸回りの曲げモーメント

３）解析結果のまとめ

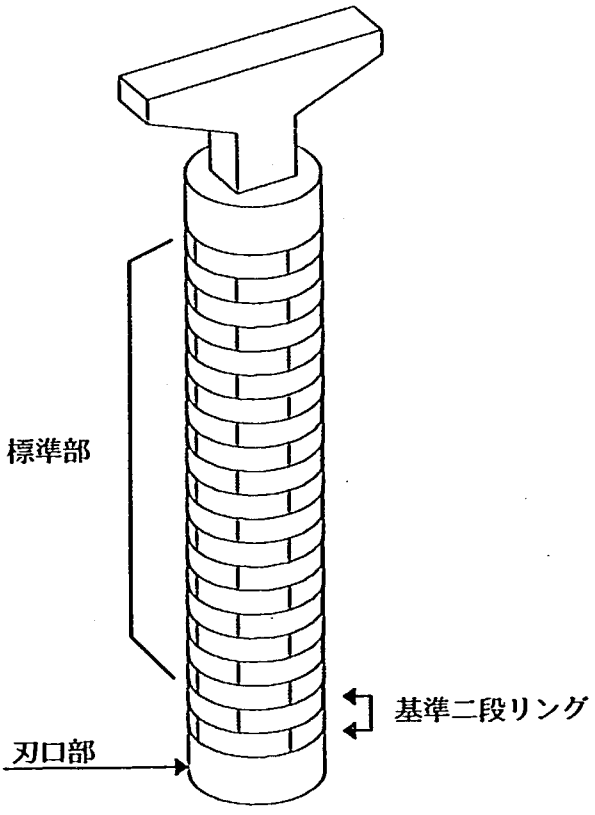
ケーススタディの結果、自動化オープンケーソンについては、鉛直継手、水平継手ともその存在がケーソンの挙動および断面力におよぼす影響は小さく、現在のケーソンの設計法の適用については問題がないといえる。

４．１．４　プレキャスト躯体の構築に関する研究

（１）研究の経緯

プレキャスト躯体システムで使用されるプレキャストブロクは、運搬上の理由から、シールドセグメントと同様に小割された部材を千鳥組配置に積み上げ、鉛直方向はＰＣ鋼棒で緊張する構造である。そのため、部材の水平接合面は隙間があってはならないためプレキャストブロックの製作方法はマッチキャスト方式が理想的といえる。

しかしながらこの方式を用いた場合、現場での１段目のプレキャストブロックが、工場製作時と同様の平面形状と高さが再現されることが必須条件となる。１段目の設置精度が良くなければ、千鳥組み配置される２段目以降の接合面にはどうしても隙間や段差が発生してしまうため、１段目を精度良く設置することが重要である。



図－４．１．１９　基準二段リング概要図

平成５年度に、当研究において実証施工実験を実施し、そこでは現場打ちコンクリート躯体とプレキャスト躯体との間に、基準リングと称する厚さ２５㎝の部材を介在させ１段目を精度良く設置する工夫を図った。ところが、基準リングを用いた場合でも十分な設置精度を得ることは容易ではなくプレキャスト躯体の構築方法を確立するためには幾つかの課題を解決しなければならないことが判明した。

これらの課題を解決するため、追加実験を実施した。

その結果、図－４．１．１９に示す基準二段リングを設置する方式が、プレキャスト躯体の構築方法のひとつとして確立することができた。

（2）構築方法確立のための実験

実証施工実験後にも再び実証実験時と同様に同寸法の部材を製作して組立試験を行ったが、厚さ２５cmの基準リングをライナープレートで高さ調整するといった構築方法では、千鳥組構築で必要とされる設置精度を得ることができず、組立が極めて困難であることが判明した。

そこで、構築方法の大幅な見直しが余儀なくされ、検討の結果、基準二段リング方式を採用することとした。

この方式は、現場打ちで築造される刃口部の直上に、極めて設置精度の高いリングを２段組み立てることにより、それより上方の標準部を工場製作時と同等の精度に組み立てることができる。

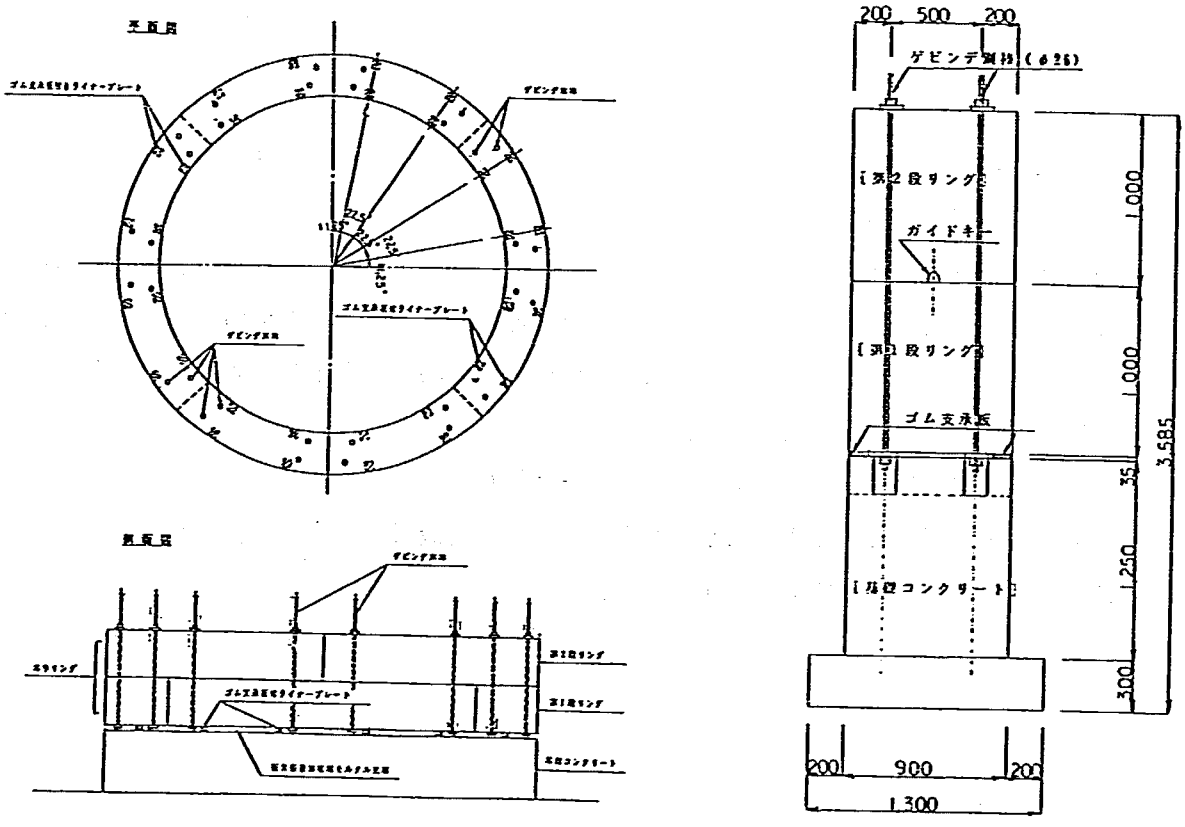
おもな特徴は、次のとおりである。

① 基準リングとして標準部と同一の部材２段を使い、この２段を緊張結合する。剛性の大きい部材が一体化され、工場製作時の精度の再現がはかれる。

② 基準リングを刃口の現場打ちコンクリート部に設置する支承として、ゴムを使用する。このため測量誤差、設置誤差が多少あってもバネの上に部材を置いた状態になり、誤差が吸収される。

③ ゴム支承は必要が無くなれば容易に撤去できる。

基準二段リング方式の実験概要を図－４．１．２０に示す。この方式は、実工事においても十分適応できる構築方法であると考えられる。



図－４．１．２０　基準二段リング実験概要図

4．2　掘削機械等の研究開発

オープンケーソン工法の掘削は、クラムシェル等のバケットにより先行掘削し圧入荷重を作用させ沈設させる工法が主流であった。しかし刃口下の掘削が困難で刃口先端の支持力度によっては沈下不能に陥り易く、硬質地盤や大深度では掘削、排土効率が著しく低下する。さらに掘削面の先掘による周辺地盤の撹乱や近接構造物への影響等、種々の問題点を有している。

今回開発した自動水中掘削揚土システムは、上記の問題を解決し、ケーソンを確実に沈設するため、

① 掘削面のヒービングあるいはボイリングなどを防止できる自動水中掘削技術

② 大口径、大深度掘削に対応可能で、刃口下を含めたケーソン全断面の掘削が可能な機械

③ 将来予想される作業員不足に対応するため、安全性が高く、省人化、自動化された掘削精度の高い掘削機械

を目標に開発を行った。

4．2．1　自動水中掘削機の研究開発

（1）掘削機械の選定と経緯

掘削機械の選定は、深度方向に層状をなす地層の変化、基礎の大型化、大深度化に対応でき、さらに自動化、施工の効率化を図れるものを基本条件として行った。

平成２年度に、調査、研究により下記８案の水中掘削機を抽出し、さらに比較検討した結果、アーム式ロードヘッダー、アーム式クラムシェル、ガイドレール式バックホーが優れていると評価した。

・遊星拡底掘削機
・アーム式掘削機
・アーム式クラムシェル
・センターシャフト式バックホウ
・ガードレール式バックホウ
・旋回式ショベル
・高圧ジエット式掘削機
・チェンソー式掘削機

平成３年度には、二次選考された３案について実用化の可能性、経済性、施工性および大口径、大深度化への適応性等について比較した。

種々検討の結果、自動水中掘削機としては、「ガイドレール式バックホウ掘削機」と「アーム式ロードヘッダー掘削機」の２工法を選定した。そのうち「ガイドレール式バックホウ掘削機」は、気中掘削ができ、大口径化への対応が容易な構造なため、実証実験用掘削機に選定し、詳細検討・設計・製作を行った。

（2）掘削能力と機能の研究

自動水中掘削機の能力および機能は、ケーソンの深度方向の地層の変化、基礎の大型化、大深度化に対応でき、さらに自動化、施工の効率化を図れるものとし、基本条件として以下の６項目を挙げた。

① 掘削径

ケーソン径は施工実績の最も多いφ６m～１０mを対象とした。

② 掘削能力

軟岩程度の地盤を支持層とする場合までを考慮し、q_u＝２００kgf/cm²以下の軟岩層あるいは土丹層を掘削可能なものとする。

③ 掘削深度

施工実績では２５m以下が大部分で５０mを越えたものは１件であるが、基礎の大深度化および大深度地下利用の活発化が想定されるため、開発目標を５０m～８０mとした。

④ 掘削速度

掘削速度は現在一番使用されているクラムシェルと同等以上のものとし、深度が大きくなっても掘削速度が低下しないものとする。

⑤ 昇降機能

自動水中掘削機を直吊りする場合、大型のクレーンが必要となり施工性、経済性の面で問題が多く、また機械の保守点検、修理のために水中から引き上げる必要がある。水中掘削機の引き上げ作業は直接目視ができないため手探り作業となり、場合によっては潜水士を必要とする。そのため、作業性、安全性などの問題点が多い。このような問題点を解決するため、自動水中掘削機には昇降機能を持たせることとする。

⑥ 掘削操作、制御

自動水中掘削機の操作は、掘削作業から排土作業まで自動化し、オペレータは主として計器、グラフィックモニターなどを監視するだけの省力化機構とする。

以上のまとめを表－４．２．１に示す。

表－４．２．１　掘削機の機能

① 掘 削 径	φ６m～φ１０m（刃口下の掘削機能を有する）
② 掘削能力	軟岩 q_u＝２００kgf／cm²以下
③ 掘削深度	５０m以上８０m程度
④ 掘削速度	クラムシェルと同等、もしくはそれ以上
⑤ 昇降機能	掘削中の自己昇降機能についても検討する
⑥ 掘削機能	自動掘削

最終的には「アーム式ロードヘッダ掘削機」と「ガイドレール式バックホウ掘削機」の２工法を選定した。前者は横浜ベイブリッジ（φ１０．０m，ℓ＝７５m，q_u＝４０kgf/cm²）において実証工事を行っており、後者も平成２年度にモデル機による模擬土層（q_u＝４０kgf/cm²）掘削試験を終了している。両者とも自動運転により施工され良好な結果を得ることができた。

その実績を基に２工法の掘削能力と機能の比較検討を行った。結果は概ね以下の能力を有していると想定された。

１）掘削能力

「アーム式ロードヘッダ掘削機」と「ガイドレール式バックホウ掘削機」の掘削能力を表－４．２．２、４．２．３に示す。

表－４．２．２　アーム式ロードヘッダ掘削機の掘削能力

	粘 性 土	砂及び砂質土	礫及び礫質土	土　　丹
掘削能力(m³/h)	６．３	１１．０	１１．０	９．０

表－４．２．３　ガイドレール式バックホウ掘削機の掘削能力

	粘 性 土	砂及び砂質土	礫及び礫質土	土　　丹
掘削能力(m³/h)	８．３	８．３	８．３	５．８

※揚土を含めた場合として算出。

③　２工法の比較

従来のクラムシェルによる水中掘削オープンケーソン（建設省土木工事積算基準）と２工法を比較した場合以下のことが推測された。

ａ．アーム式ロードヘッダ掘削機とガイドレール式バックホウ掘削機の掘削能力はほぼ同等であり、いずれも従来のクラムシェルの掘削能力を上回っている。

ｂ．両工法とも、深度８０m程度までであれば掘削能率の低下がなく、大深度になるほど従来型の掘削工法との差が大きくなる。

ｃ．アーム式ロードヘッダ掘削機はエアーリフトによる揚土を行うので、１５mより浅い部分の掘削には適用できない。

ｄ．掘削対象土に対しては、土丹層などの軟岩層にはアーム式ロードヘッダ掘削機、粘性土ではガイドレール式バックホウ掘削機が優る。その他の地盤では総じて２工法ともほぼ同等の掘削能力を有する。

2）機　　能

表－４．２．４　自動水中掘削機の機能比較

	基　本　条　件	アーム式 ロードヘッダ掘削機	ガイドレール式 バックホウ掘削機
①　掘 削 径	φ6.0m～φ10.0m （刃口下の掘削機能を有する）	φ6.0m～φ10.0m （刃口下掘削可能）	φ6.0m～φ10.0m （刃口下掘削可能）
②　掘削能力	軟岩 q_u＝200kgf/cm²以下	q_u＝200kgf／cm²以上	q_u＝50kgf／cm²以下
③　掘削深度	５０m以上８０m程度	８０m程度	８０m程度
④　掘削速度	クラムシェルと同等、もしくはそれ以上	クラムシェル以上	クラムシェル以上
⑤　昇降機能	掘削中の自己昇降機能についても検討する	な　し	掘土機との連携により可能
⑥　掘削機能	自動掘削	全自動掘削	全自動掘削

以上のように両自動水中掘削機は、能力、機能ともに基本条件を満足できると判断できる。

（3）掘削機械の設計

選定した「ガイドレール式バックホウ掘削機」に対しさらに掘削機、排土設備、揚重機の諸元を検討した。その結果、ガイドレール式バックホウ掘削機に回転式門型クレーンを組み合わせた掘削システムが最良と考えられ開発に着手した。平成３年度に基本設計、平成４年度に詳細設計を行った。

1）基本設計

システムの基本設計は、以下の基本項目の検討・確認をし、基本条件を設定して行うこととした。

表－４．２．５に基本検討項目および基本条件を示す。

表－４．２．５　基本項目と基本条件

	基本検討項目		基本条件
掘削機	ガイドレール下端位置	掘削時の必要地盤高さ	・φ 8.0m＝2.0m ・φ10.0m＝2.5m
	掘削機の仕様	・適用ケーソン範囲 ・アタッチメント仕様	・φ8.0m～φ10.0m ・２種類のバケット W＝536mm(普通土) W＝428mm(硬質土)
	掘削機の主要諸元	掘削機能力	・適用土質q_u=50kgf/cm² ・掘削能力5.8～8.3m³/h ・気中、水中対応 (耐水圧=10kgf/cm²)
揚土機	動力、電源の比較	給電方式（商用電源、発電機）特質比較	発電機搭載型が基本で商用電源も可能
	揚土バケットの比較	機械式、油圧式クラムシェル適正比較	電動油圧クラム
	ジブクレーン搭載の検討	適用範囲拡大のための一案	門型クレーンで対応可能
	揚土機関連の仕様	揚土機能力	18ton(掘削土揚土能力)
作業手順	掘削機、昇降ﾚｰﾙ設置位置	ﾒﾝﾃﾅﾝｽ時の掘削機、昇降ﾚｰﾙ引上げ位置	門型クレーン上 (泥水分離設備の設置)
	作業手順の検討	掘削、構築作業時の手順	・掘削機、電動油圧グラブ、フックはアタッチメントで交換。 ・直線、円形走行を可能とし掘削、構築双方に対応

2）詳細設計

実証試験機の掘削システムの仕様を以下のように決めた。

① 掘削システムの機能

a．ケーソン躯体内周に設けた走行レール上を走行しながら、水中にてケーソン刃口部を含む全地盤を掘削する機能。

b．土質の種類に応じた掘削パターンを選択し遠隔操作により自動掘削する機能。

c．走行レールの一部を分離可能なレール（以後、「昇降レール」という）とし、そのレールに水中掘削機を乗せ、揚土機のウインチにより縦レールに沿って昇降する機能。

d．水中掘削機が走行レール上で不測の事態になった場合、揚土機のウインチによりケーソン内部から吊り上げが可能な非常時対応機能。

② 掘削システムの主な装置

本掘削システム装置の構成は以下の通りである。

a．水中掘削機（図－4．2．1参照）

・パワーユニット

電動機により油圧ポンプを駆動させ各アクチュエータに圧油を送る装置。

電動機は水中モータを標準仕様とするため気中掘削の場合、電動機の交換もしくは冷却装置の取付が必要となる。

・作業機

ブーム、アーム、バケットをそれぞれ油圧シリンダにより回転運動させ掘削作業を行う。

・走行装置

掘削機を上下２段の走行レールに沿って走行させる装置で、減速機付き油圧モータで左右２個の車輪を回転させ走行する。

・把持装置

掘削機を走行レールに固定させ掘削反力を得る装置で、走行レール・躯体の順に力を伝達させる。油圧シリンダ、リンク、把持パットで構成される。

・離脱装置

掘削機が走行中レールより脱線しないための保護装置で、油圧シリンダ、リンク、ローラで構成される。掘削機をレールから取り外す場合には油圧シリンダによりローラを解除する。

b．制御・電装機器

・掘削機制御盤

掘削機を遠隔操作するためのもので揚土機運転室内に配備する。本システムでは集中管理を行うため制御盤には電装器具の他、コンピュータ、操作盤、掘削機の作業状況を監視するグラフィックモニター、掘削機の異常を検知した場合のブザー、非常停止装置などを備えている。

・掘削機電力制御盤

発電機より掘削機に供給する電力を調整、監視するもので、発電機の近傍に設置する。

・動力・信号ケーブル

掘削機、掘削機制御盤などに電源を供給する動力ケーブル、掘削機の制御信号、異常検知信号などを伝送する信号ケーブルなどがある。

本システムでは水中掘削機～掘削機制御盤間では動力ケーブル、信号ケーブルを一体とした同軸ケーブルを採用している。

c．レール

・走行レール

水中掘削機の走行レールは鋼製で上下２段式とし、掘削機がケーソン全断面を掘削できるよう刃口上近傍の躯体内壁に円周状に敷設する。

・昇降レール

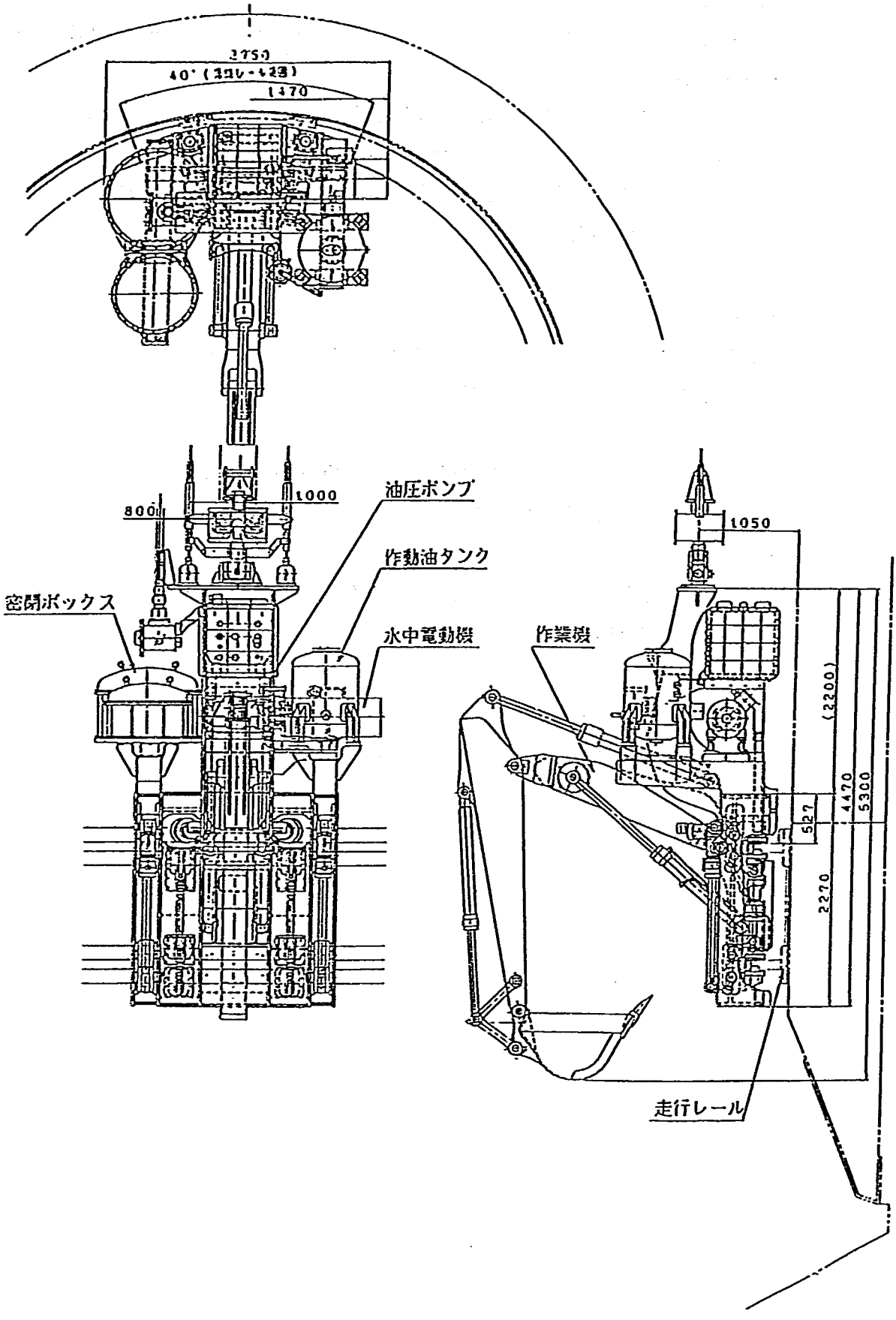
水中掘削機をケーソン上部まで昇降させるためのもので、走行レールの一部を分離可能型とし走行レールより切り離せる構造としたもの。

・縦レール

昇降レールをケーソン上部まで移動させるガイドとなるもので、ケーソン内壁上下方向に敷設するパイプ形状のものである。

d．非常時離脱装置

水中掘削機が不測の事態に陥った場合、走行レールより離脱させ地上に引き上げる装置で、巻き上げには揚土機クレーンの特殊フックを用いる。



図－４．２．１　自動水中掘削機外観図

（4）掘削方法（パターン）の検討「ガイドレール式バックホウ掘削機」

掘削方法の検討は、ケーソンの急激沈下、過剰沈下を防止し、沈設精度、水中掘削機の作業性の向上を目標として行われた。すなわち深度、地層の変化により変わる沈下抵抗力、およびケーソンの姿勢を考慮しながら自動水中掘削機の掘削位置、深さを制御することを目的とした。

1）掘削作業範囲の検討

掘削作業範囲の検討は、ガイドレール式バックホウ掘削機のレール取付位置の検討を机上計算により算出し、ケーソン刃口下-３０㎝、中央部-１１００㎝を掘削可能な作業機（ブーム、アーム、バケット）として行った。

以下に検討条件と結果を図－４．２．２に掘削作業範囲図を示す。

（検 討 条 件）

① 砂質土ではN値２０以上とする。

② 粘性土ではN値　６以上とする。

③ 安定したスムーズな掘削作業を可能とするため先行圧入量は５０㎝程度とする。

（検 討 結 果）

表－４．２．６　標準モデルの検討結果　　単位：(m)

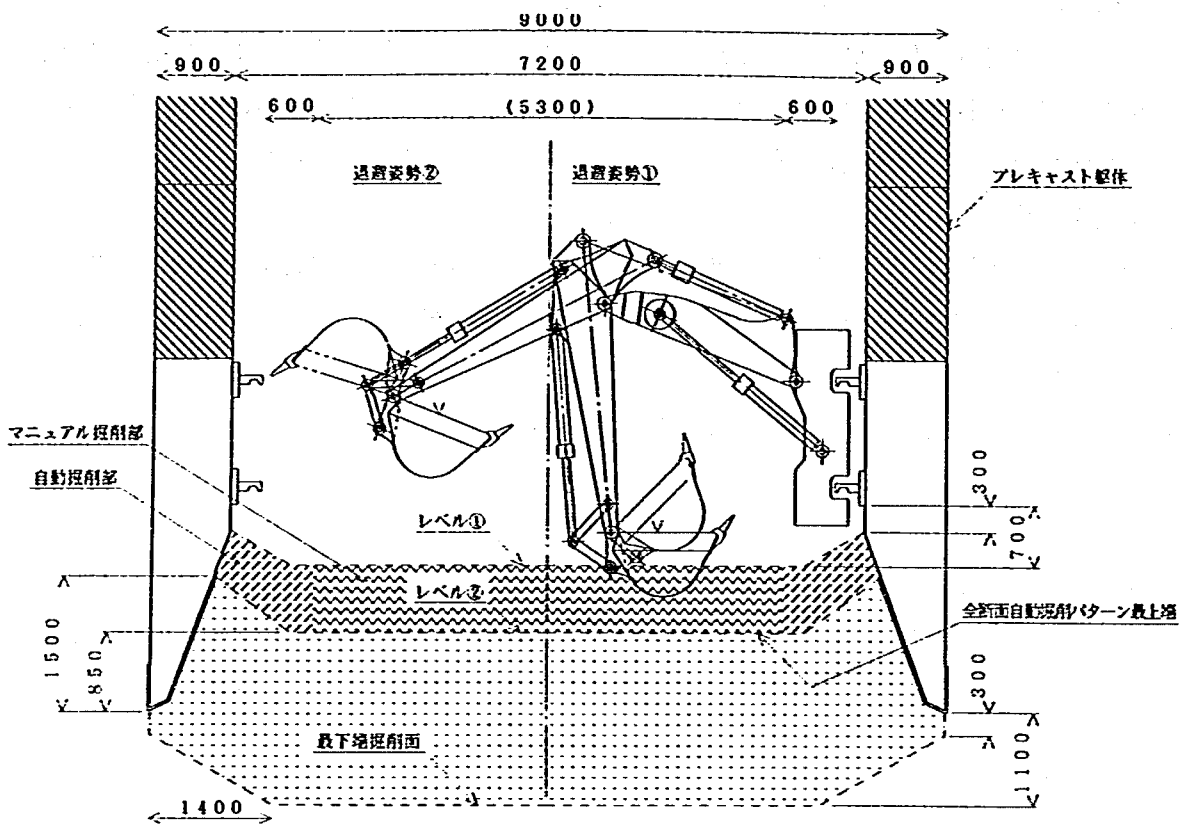
	圧入荷重なし	先行圧入分	地　盤　高	レール下端高
砂 質 土	１．１	０．５	１．６	２．０
粘 性 土	０．８	０．５	１．３	

ケーソン規模：(φ８m×５０m)

表－４．２．７　施工領域拡モデルの検討結果　　単位：(m)

	圧入荷重なし	先行圧入分	地　盤　高	レール下端高
砂 質 土	１．３	０．５	１．８	２．５
粘 性 土	２．０	０．５	２．５	

ケーソン規模：(φ１０m×８０m)



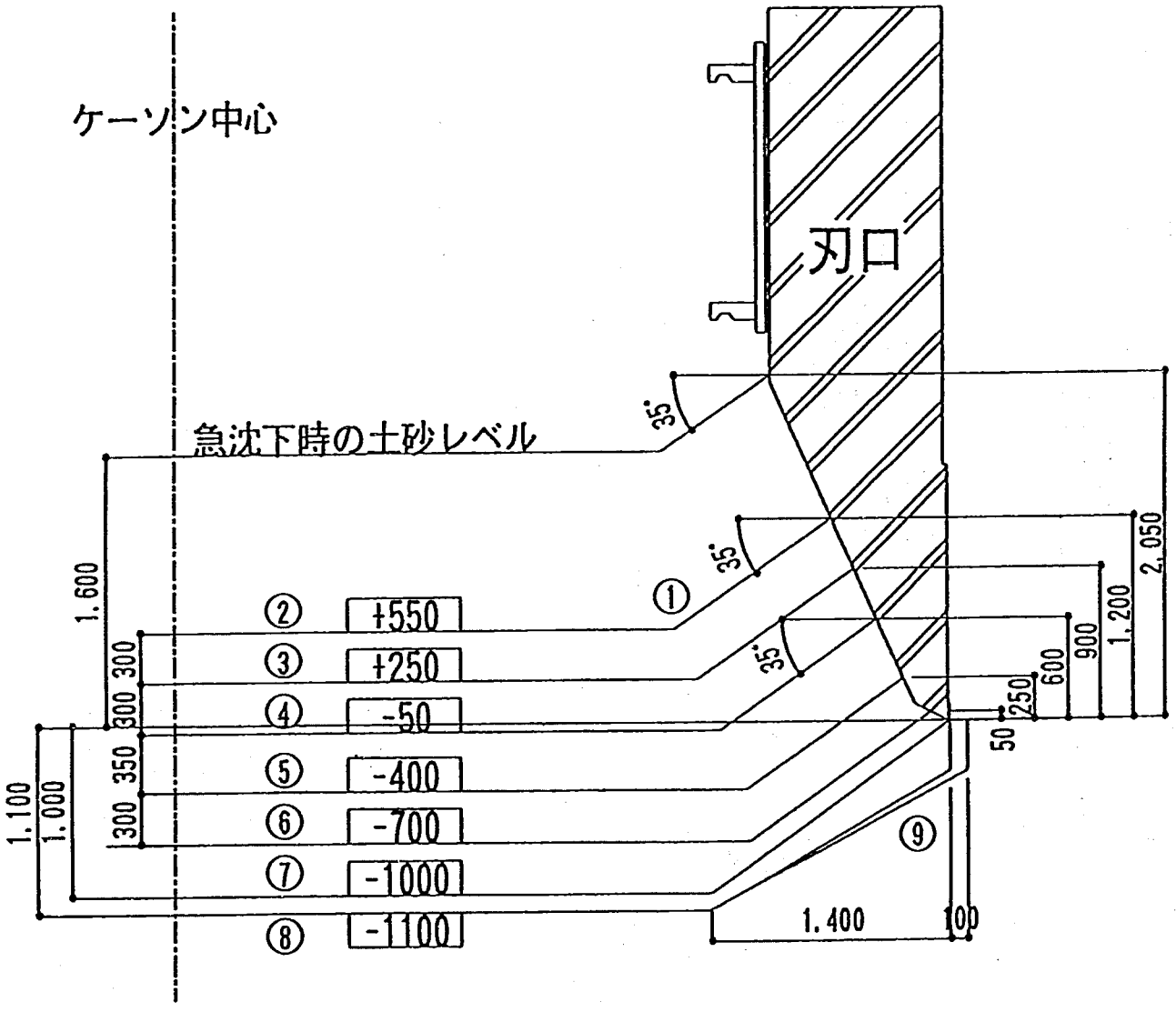
図－４．２．２　掘削作業範囲図（φ９．０ｍモデル）

２）掘削方法の設定

自動水中掘削機の設計と並行し掘削方法を検討した。掘削方法には、作業機の動作範囲により決まる掘削断面パターン、走行位置により決まる走行パターンを設定した。各パターンは、ケーソンの姿勢、地層の変化など刻々と変わる諸条件に対応できるよう数種用意することとした。

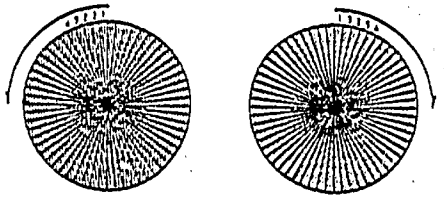
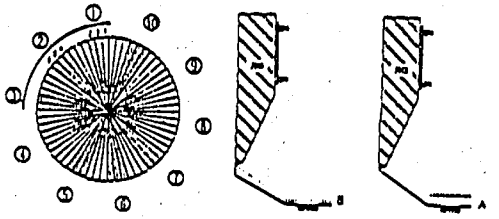
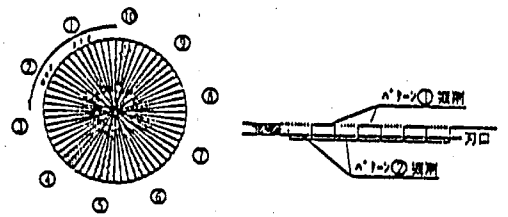
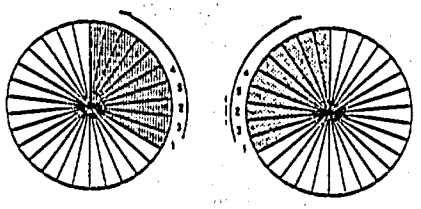
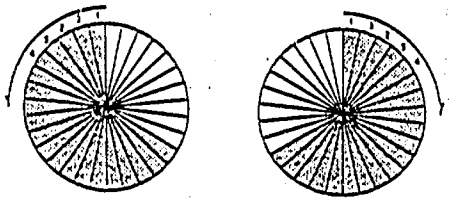
掘削断面パターンを図―４．２．３に、走行パターンを表－４．２．８に示す。

上記掘削断面パターン、走行パターンは自動水中掘削機の自動運転掘削プログラムに組み込み、実証施工実験により適否を判断する。



図－４．２．３　掘削断面パターン

表－４．２．８　走行パターン（平面的移動方法）

パターン番号		掘削平面移動図	掘削手順	備考（適性土質他）
1	標準パターン （連続同一方向全周掘削）		1．掘削定数設定（掘削深さ、掘削断面パターン） 2．1～3掘削（初期自動掘削3ピッチ） 3．4，5掘削（連続自動掘削2ピッチ） 4．6，7掘削 ： ： ： 掘削終了 掘削機の移動に合わせて、掘土機の移動を行う。	（理想的な効率の良い掘削パターン） ・粘性土、砂質土において、掘削断面パターンの選定により、連続掘削が可能であり、掘削完了後、先行圧入が可能と判断される場合
2	硬質土パターン① （不連続同一方向掘削）		1．掘削定数設定（掘削深さ、掘削断面パターン） 2．①（1～3）掘削（初期自動掘削3ピッチ） 3．②（4～6）掘削（初期自動掘削3ピッチ） 4．③（7～9）掘削（初期自動掘削3ピッチ） ： ： ： 掘削終了	（部分的に任意の溝掘を行う掘削パターン） ・硬質土で、刃先の接地面積を円周方向においても変化させて、圧入荷重を減少したい場合 ・砂質土で、連続して刃口下面を掘削すると急激な沈下が想定される場合 ・軟弱な粘性土で、支持力が弱い場合
2′	硬質土パターン② （不連続同一方向掘削）		1．掘削定数設定（掘削深さ、掘削断面パターン） 2．①（3→1→2）掘削（初期自動掘削3ピッチ） 3．②（6→4→5）掘削（初期自動掘削3ピッチ） 4．③（9→7→8）掘削（初期自動掘削3ピッチ） ： ： 掘削終了 硬質パターン①の掘削完了後圧入沈下をした後、パターン②にて未掘削部分の掘削を行う。	
3	掘削範囲限定パターン① （連続同一方向限定掘削）		1．掘削定数設定（掘削深さ、掘削断面パターン） 掘削手順は、標準パターンと同様で範囲が限定される。	（傾斜修正に対応する掘削パターン）
3′	掘削範囲限定パターン② （連続同一方向限定掘削）		上記と同様 上記パターン①の掘削完了後圧入沈下を実施した後、パターン2にて未掘削部分の掘削を行う。	

4．2．2　自動揚土機の研究開発

（1）揚土方式の選定

自動水中掘削機として選定した「アーム式ロードヘッダ掘削機」、「ガイドレール式バックホウ掘削機」の２工法に適合する揚土方式について検討を行った。選定は、以下の基本条件を設けその条件を満足できる方式であることとした。

1）基本条件

① 多量の土砂を短期間に、かつ経済的に揚土できること。

② 単純な構造で信頼性が高く、故障が少ないこと。

③ メンテナンスが容易で、現場で修理が可能であること。

④ 運転経費が安価であること。

⑤ 自動運転が行えること。

2）選定経緯

① 一般に使用されている揚土方式の調査と分類。

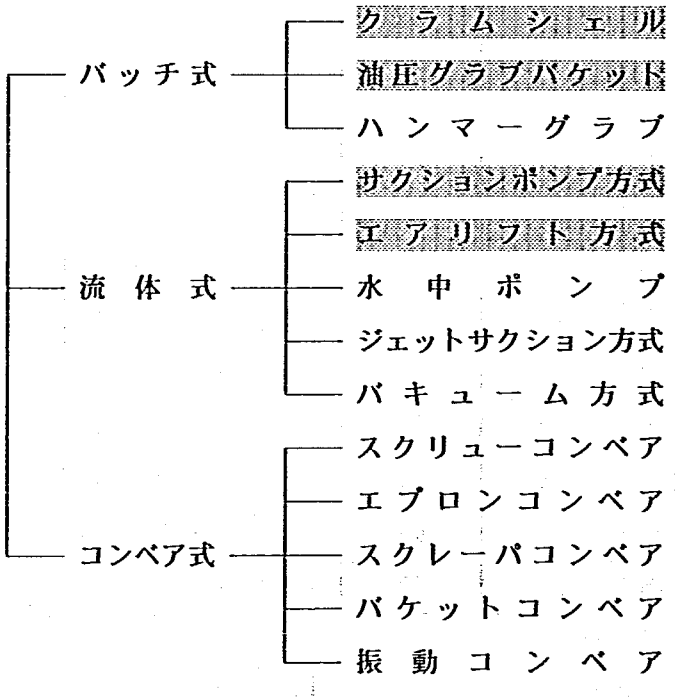
② ２工法に適応可能な機械の特性調査と一次選考。

③ 一次選考機械の比較評価。

④ 最終選定。

（一般揚土方式と分類）

一般に使用されている揚土方式を調査し、以下のように分類した。



3）一次選考結果

① アーム式ロードヘッダ掘削機

a．クラムシェル方式＋サクションポンプ方式

初期掘削時はクラムシェル方式で掘削、揚土を行い、自動水中掘削機投入後からサクションポンプ方式による揚土に切り換える。

b．クラムシェル方式＋エアリフト方式

初期掘削時はクラムシェル方式で掘削・揚土を行い、自動水中掘削機投入後よりエアリフト方式による揚土に切り換える。

② ガイドレール式バックホウ掘削機

a．クラムシェル方式

初期掘削時には、クラムシェル方式で掘削、揚土を行い、自動水中掘削機投入後はクラムシェルを揚土専用機として使用する。

b．油圧グラブバケット方式

初期掘削時は、油圧グラブバケット方式で掘削、揚土を行い、自動水中掘削機投入後は油圧グラブバケットを揚土専用機として使用する。

4）最終選定

アーム式ロードヘッダ掘削機		
項目＼揚土方式	ｻｸｼｮﾝﾎﾟﾝﾌﾟ方式	ｴｱﾘﾌﾄ方式
揚土効率	◎	○
操作の容易性	○	◎
転石への対応	△	△
掘削との同時作業	◎	◎
大口径化への対応	△	○
大深度化への対応	△	◎
遠隔操作・自動運転の容易性	○	○
維持・保守管理の容易性	○	◎
土砂・水処理費	△	△
設備費	△	◎
総合評価	○	◎

※評価基準…◎最　適
○適する
△やや問題有り

ガイドレール式バックホウ掘削機		
項目＼揚土方式	ｸﾗﾑｼｪﾙ方式	油圧ｸﾞﾗﾌﾞﾊﾞｹｯﾄ方式
揚土効率	○	○
操作の容易性	○	◎
ﾊﾞｹｯﾄの水中抵抗	○	△
ﾊﾞｹｯﾄの回転防止	△	○
転石への対応	○	○
掘削との同時作業	△	△
大口径化への対応	○	○
大深度化への対応	○	○
遠隔操作・自動運転の容易性	△	◎
維持・保守管理の容易性	◎	○
土砂・水処理費	○	○
設備費	○	○
総合評価	○	◎

（2）揚重機の選定

自動水中掘削機の２工法とそれぞれに対応した揚土機の選定に続き、揚重機の検討を行った。

1）アーム式ロードヘッダ掘削機

本掘削機は、横浜ベイブリッジで実証工事を行い良好な成果をあげている。したがって本研究においてはケーソン上に掘削機懸垂支持架台を設け、その支持架台に動力、油圧ユニット、油圧ホース、信号ケーブル巻き取り装置を装備し、その近傍に運転、制御室および掘削機仮置き架台を設けるシステムとし、また施工現場の状況、ケーソンの形状、規模によってはクローラクレーンを採用するという机上検討までとした。

2）ガイドレール式バックホウ掘削機

本掘削機のシステムは、ケーソン内周に設置された走行レールに沿って３６０度旋回しケーソン全断面を掘削する掘削機と、掘削土を搬出する油圧グラブバケットにより構成される。したがって荷役設備は、

① 掘削機、揚土機の巻き上げが可能で、かつ揚土機の巻き上げ速度が掘削能率に影響をおよぼさないウインチ能力。

② 掘削機の走行に追従する機能。

③ 掘削機の動力、信号用ケーブルの処理機能。

④ 掘削機の昇降および非常時離脱を可能とする機能。

⑤ 揚土機を装備し、その運行を行う機能。

⑥ 掘削時に掘削機と揚土機の接触などを防止する位置制御機能。

などの能力、機能を備えることが可能な機械として検討を進め「回転式門型クレーン方式」を選定した。

（3）自動揚土機の設計

揚土機は、掘削機と同様に基本的項目（表－4．2．5参照）の検討より進め、さらに躯体構築にも使用できるものとして設計した。

全体組立図を図－4．2．4に示す。

（自動揚土機の最終機能）

① 水中掘削機で掘削した土砂を、電動油圧グラブバケットにより門型クレーン揺脚に装備した土砂ホッパに排土し、さらに土砂ホッパよりダンプトラックに積み込む機能。

② プレキャスト躯体構築時に、プレキャストブロックをストックヤードから躯体上方まで運搬し、かつブロックを躯体に取り付ける荷役機能。

③ 門型クレーンとしての荷役機能。

④ 吊り荷の荷重、用途に合わせてワイヤロープの条数を2掛け、6掛けに兼行する機能（ローディングブロック）。

⑤ 水中掘削機のケーブルを水中掘削機の移動（掘削機の走行、ケーソンの沈下など）に追従させ、保持・収納する機能。

⑥ 水中掘削機の位置検知用ワイヤロープを保持し、かつその信号により電動油圧グラブバケットとの干渉を避ける機能。

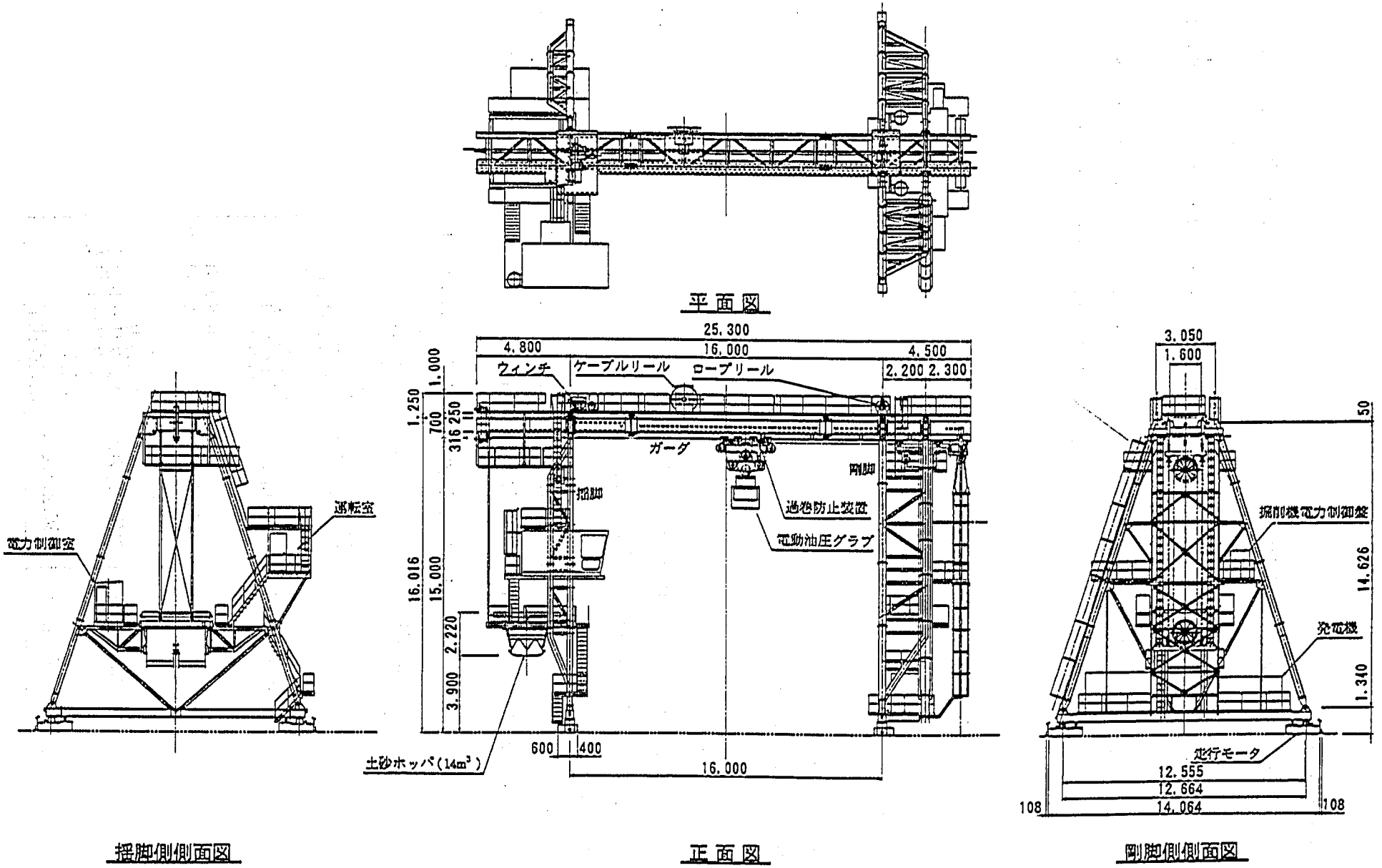
⑦ 水中掘削機の保守・点検のためにケーソン内より引き上げ門型クレーンの剛脚内に仮置きする機能。

⑧ 作業を効率化するため、ケーソン外周を円形走行し、かつケーソンを挟んで直線走行を行う機能。

⑨ 本機および水中掘削機の運転・操作に必要な電力発電、配電機能。

⑩ 本機および水中掘削機の運転・操作を行う運転操作室を搭載する機能。

⑪ 本機および水中掘削機の稼働状況のデータを中央管理室に伝送する機能。



図－４．２．４　自動揚土機全体組立図

4．3　沈下管理システムの研究開発

オープンケーソン工法の省力化と施工精度の向上を目標として、施工管理技術の自動化システムを開発した。

まず、開発の第1段階では、施工管理実績の調査を行い、施工管理技術の現状分析と目標とする合理化レベルの検討を行った。

第2段階として、第1段階における設定目標にしたがい、自動沈下管理システムの設計と開発を行った。

第3段階としては、実大規模のケーソンにおける実証施工実験を行い、開発したシステムの機能確認と評価を行った。

4．3．1　研究開発の経緯

（1）現状調査

オープンケーソンの沈下管理システムの開発にあたって、沈下管理の現状調査を行った。調査の方法としては、

① 工業所有権および文献調査

② アンケート調査

の双方によった。

1）工業所有権および文献調査

ケーソン工法に関わる工業所有権および文献等の調査結果より、「①計測システム、②姿勢制御方法、③施工精度」に関する記述を抜粋して整理した。

① 計測システム

実施例におけるケーソンの計測目的は、「沈下管理」「躯体の安全確認」「環境保全」の3つにほぼ整理される。それぞれの目的に対する計測項目は、表－4．3．1のように整理される。

表－4．3．1　文献記載の実施例における計測項目

計測目的	計測項目	
沈下管理	位置姿勢計測	沈下量 傾斜量 水平移動量、回転量
	荷重計測	壁面土水圧 周面摩擦力 刃口反力
	圧入制御	ジャッキ圧入力 ジャッキストローク
躯体の安全確認	躯体の応力度	鉄筋応力 コンクリートひずみ コンクリート温度
環境保全	周辺地盤変状	地中変位 地表面沈下

② 姿勢制御方法

文献等に報告されている姿勢制御の方法は、下記のように分類される。

鉛直制御方法 ---- 滑材、高圧水、高圧空気等で周面摩擦力を均一化する。
刃口部の掘残し量の調節で刃口反力を調節する。
ジャッキ圧の調整により制御する。

水平制御方法 ---- 移動を予測して、予め据付位置を移動させておく。
地盤改良により地盤を均一化しておく。
水平移動抑止杭の打設、水平ジャッキによる押圧。

③ 施工精度

文献等に記述のある施工精度の実績は、

・傾斜量　　1/100～1/200
・水平移動量　　0～50㎜

の報告が多い。

対象構造物の用途等によっても異なるが、この数値は必ずしも充分な精度ではなく、オープンケーソン工法が減少してきた理由の一つとも考えられるため、従来より高精度の施工が容易にできるシステムを構築する必要性が生じるものと思われる。

2）アンケート調査

圧入式オープンケーソンの沈下管理に関するアンケート調査を実施し、14社より27件の回答を得た。27件を用途別に分類すると以下のようになる

橋梁等の基礎 ---------- 15件
シールド立坑 ---------- 7件
その他（人孔等地中構造物）-- 5件

また、27件のうち、5件が沈下管理に自動計測管理を採用しており、他3件に何らかの計測装置を設置している。しかし、その他の大多数は、従来のレベル、トランシット、水盛管のみによる管理を行っている。

当該構造物に自動計測管理を採用した理由としては、対象構造物に要求される品質等よりも、生産技術の向上および施工の合理化等を目的とした面が大きいようである。しかしながら、工費への影響から計測管理を少なくしているとの判断もでき、各計測項目の設置台数等、コスト面をも考慮した重要度の評価が要求された。

本調査において、従来の施工管理技術では工事毎の個別性が強く一般化の難しい状況が浮き彫りとなった。特に、沈下抵抗力の把握が困難であること、施工状況の迅速な判断とフィードバックができていなかったことが、施工管理の難かしさの要因となっていることを抽出した。また、アンケート回答の中に見られた施工管理技術として、オープンケーソンの施工に自動化施工を採用している例は若干数見られたが、実用化の初期段階で実用レベルを模索している段階であった。また、アンケートで回答されたほとんどのケースは、従来ながらの簡単な測量器具のみを用いた施工管理を行っていた。

この結果は、必ずしもオープンケーソン工法の自動化の現状を総括したものではないが、ほぼ実状を把握していると考えられる。この結果から開発するシステムの目標レベルを以下のように設定した。

① 自動化の範囲

ケーソン沈下の自動化のためには、計測システムと制御システムの並立が必要である。現段階で実現可能でかつ合理的な自動化システムとして、作業間の切換は技術者の判断の介在を必要とするが、沈下作業そのものは自動的に行えるものを目標とすることとした。

② 姿勢制御方法

姿勢制御の自動化については、２件の実施例があったが、２例とも傾斜量に応じてジャッキパターンを設定して躯体に回転モーメントを作用させるものであった。この方法は、制御上比較的簡単な回路で実現できるため、今回の制御もこの方法を発展させる方向で検討するものとした。

③ 制御系統数

実施例では、ジャッキ４～１２本に対して、４～６系統の制御を採用している。今回の開発目標としては、今後の大規模化も念頭に入れて、８系統までの制御方式を検討するものとした。

④ 計測項目

沈下の制御を行う上で、躯体の傾斜量、沈下量およびジャッキ圧入力の計測は最低必要である。その他、周面摩擦力、刃口反力等は、施工上重要なデータを与えるが、アンケート調査からもその定量的取扱いが難しいと判断されるため、制御回路の中には組み込まないものとした。しかしながら、急激沈下の予測、防止、地質ごとの抵抗力データの蓄積等のために、その計測も行う方が望ましいとの結論を得た。

（2）沈下抵抗力に関する調査

自動沈下管理システムの開発に先立ち、沈下抵抗力に関する既往の研究成果について調査した。ケーソンの沈下抵抗力は周面摩擦力と刃口反力（および浮力）より構成されており、その推定、評価を的確に行うことが、ケーソンの設計、施工において重要である。

特に周面摩擦力については、通常のオープンケーソンあるいはニューマチックケーソンについても、かなり多くの研究、実測がなされており、精度は高くないものの設計上用いるのに充分な程度の結果は得られている。それら既往の研究を体系化したものの１つに、「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」がある。ただし、ここに示された数値は、ある限定された条件下の数値であって、各工事の施工条件に応じた修正方法については記述がなく、技術者の判断にゆだねられている部分も多い。また、圧入ケーソンを対象とした「阪神高速道路公団：圧入ケーソンの設計指針」に記載されている値は、「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」記載の値より大きな周面摩擦力を示している。よって、自動化オープンケーソン工法（SOCS）に対応した沈下抵抗力の評価法について検討する必要性があるものと判断された。

そこで、アンケート調査等により、周面摩擦低減方法に関する調査を行った。

調査は、１）工法調査２）工事事例調査に分けて実施した。

1）工法調査

アンケートおよび文献、工業所有権等を調査することにより、周面摩擦低減工法の種類、工法の原理等について調査した。

工法としては、

① フリクションカッタ

② 送気式、送水式、懸濁液式

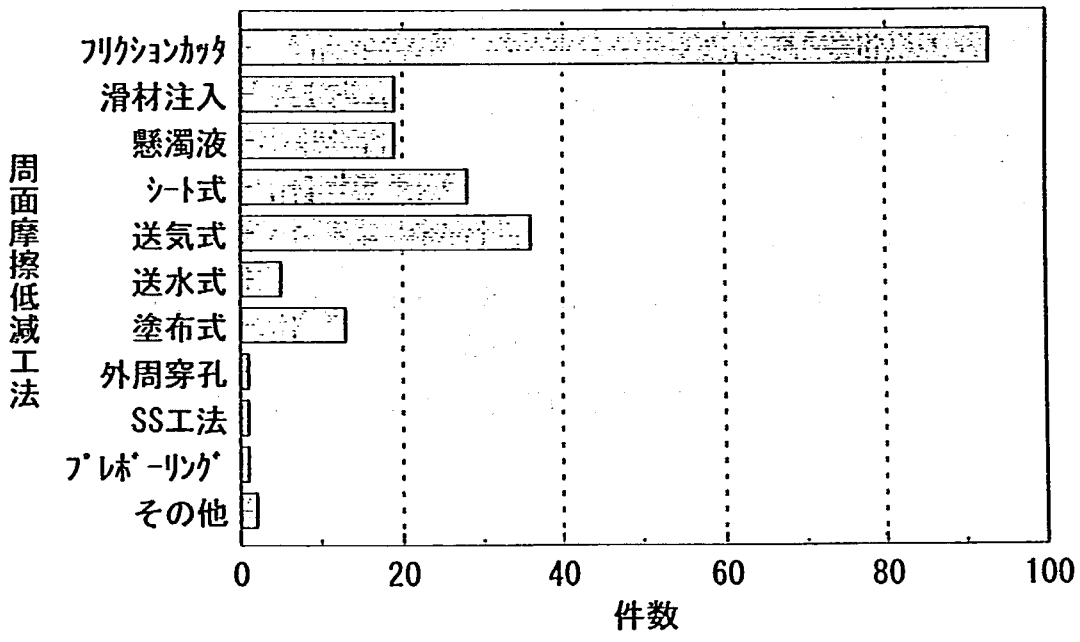
③ シート式

等に大きく分類される。

2）工事事例調査

アンケート調査により、事例調査を行った。

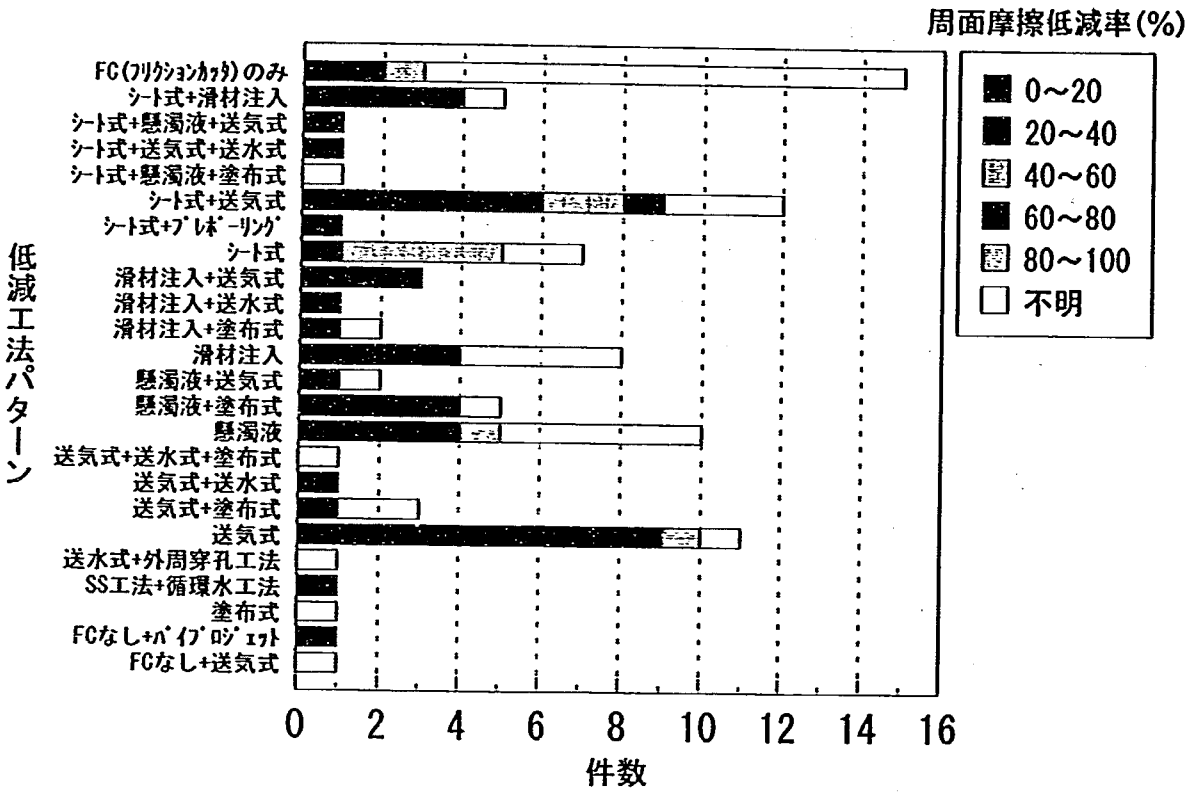
回答数は、２１社９５件であった。１件の工事で複数の低減工法を採用している例が多い。各工法の採用件数をグラフ化したものを図－４．３．１に示す。



図－４．３．１　周面摩擦力低減工法工法別採用数（複数回答可）

採用数で見ると、フリクションカッタは、アンケート回答９５件中９３件とほとんど全てに近いケーソンで採用されており、以下送気式３７％、シート式等が３０％となっている。

また、周面摩擦低減工法について、その組み合わせと効果（周面摩擦の低減率）について整理したものを、図－４．３．２に示す。



図－４．３．２　周面摩擦力低減工法の組み合わせと効果

４．３．２　自動沈下管理システムの開発

自動沈下管理システムの開発において、施工規模は先行あるいは並行して開発を進めている他のシステム（自動掘削・揚土システムおよびプレキャスト躯体システム）との整合性も考え、外径６～１０ｍ程度のオープンケーソンを対象とすることとした。また、同様の理由から、平面形状は円形のケーソンを対象とすることにした。この対象に限定して考えると、先行圧入方式の圧入式ケーソンが自動化技術の適用性や経済性の面から最適と考えられた。グラウンドアンカーに圧入反力をとり、センターホールジャッキを用いて圧入する方式のオープンケーソンについて、自動化システムの開発を行うこととした。

（１）自動沈下管理システムの概要

前述の経緯を基に、大深度ケーソンの施工において良好な施工性と品質を確保できるシステムを目標として、

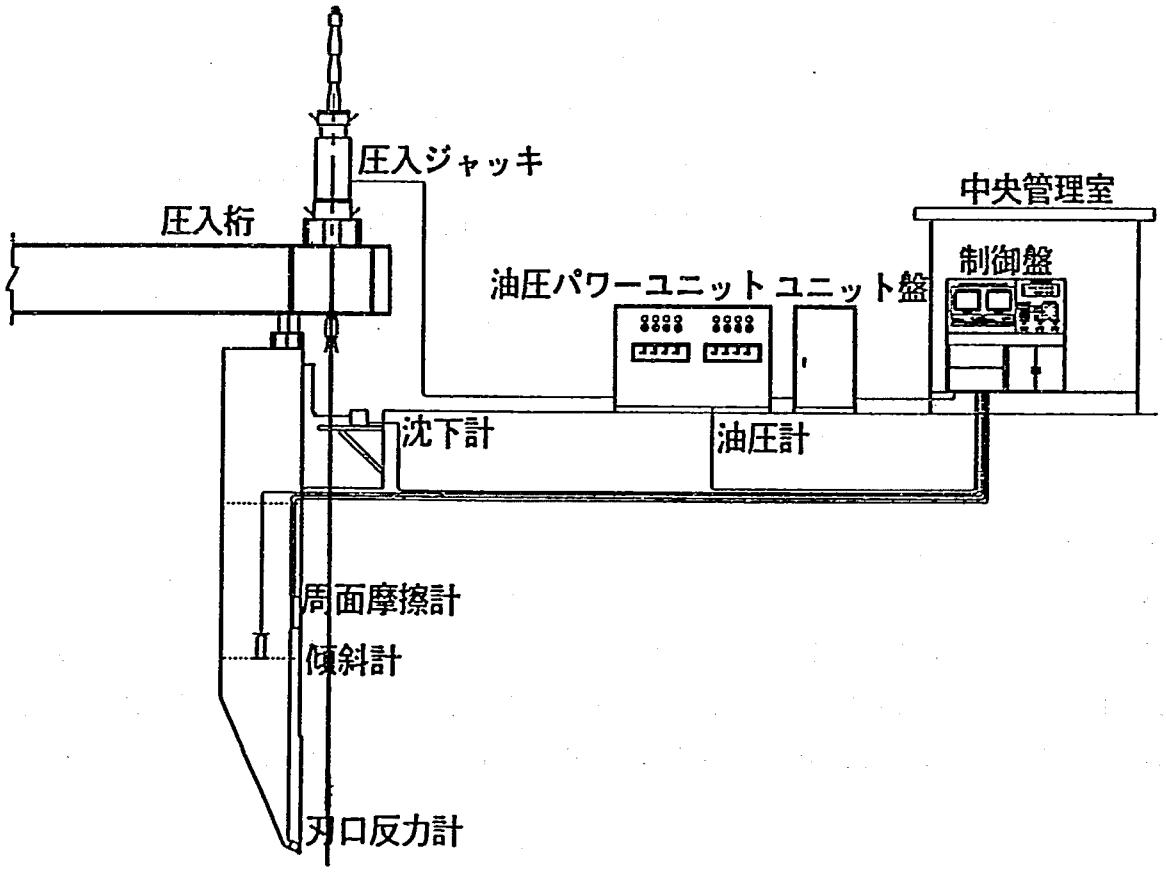
① 姿勢制御の自動化による沈設精度の向上と省力化

② 大深度への適応性および施工能率と品質管理の向上

③ 地盤の特性や掘削状況に応じた圧入力、圧入速度の設定

等を開発項目として、自動沈下管理システムを開発した。

開発した自動沈下管理システムのイメージ図を、図－４．３．３に示す。



図－４．３．３　自動沈下管理システムイメージ図

自動沈下管理システムは、ケーソン躯体に設置された各種センサーにより計測された情報に基づき圧入ジャッキを操作し、ケーソンの圧入、姿勢制御を自動的に行うシステムである。自動沈下管理システムの主な機能を以下に列記する。

1）システム構成

自動沈下管理システムは、それぞれ独立した計測システムと制御システムから構成されている。計測システムは、ケーソンの姿勢制御に必要なデータ（傾斜量、沈下量、圧入力）、および沈下抵抗力の把握に必要なデータ（刃口反力、周面摩擦力、土圧、水圧）の計測取込み、処理および画面表示等を自動的に行う。制御システムは、計測システムより必要なデータを受け取り、ジャッキ圧入力およびジャッキパターンの設定、変更により姿勢制御を自動的に行う。圧入モーメントの効果のみで姿勢制御が困難な場合には、圧入制御を停止し、水中掘削機の掘削パターンを調整すること等により対応する。

2）自動化の範囲

システムは「圧入」、「緊張」、「盛替」、「非圧入」の４モードより構成される。各モード内の動作の処理と終了動作は自動で行われ、各モード間の移行と開始動作は、管理技術者が判断し手動で切り替えるシステムとしている。

・圧入モード：自動沈下管理システムにより圧入ジャッキを制御し、ケーソンの姿勢制御を行いながら圧入する状態。

・緊張モード：圧入開始時、盛替終了後等にグラウンドアンカーのゆるみ、圧入ジャッキの遊びを取るため、低圧ジャッキを伸ばす状態。

・盛替モード：ジャッキの伸びが限界に達した時に盛替作業を行う作業モード。

・非圧入モード：掘削時等の非圧入時に異常沈下が生じないよう自動沈下管理システムで監視を行うモードで、沈下、傾斜等の情報を掘削・揚土システムへ伝送する。

3）油圧制御系統

油圧ポンプの制御は下記の４パターンに対応可能なシステムを構築した。

・油圧ポンプ４系統－制御４系統

・油圧ポンプ８系統－制御４系統

・油圧ポンプ６系統－制御６系統

・油圧ポンプ８系統－制御８系統

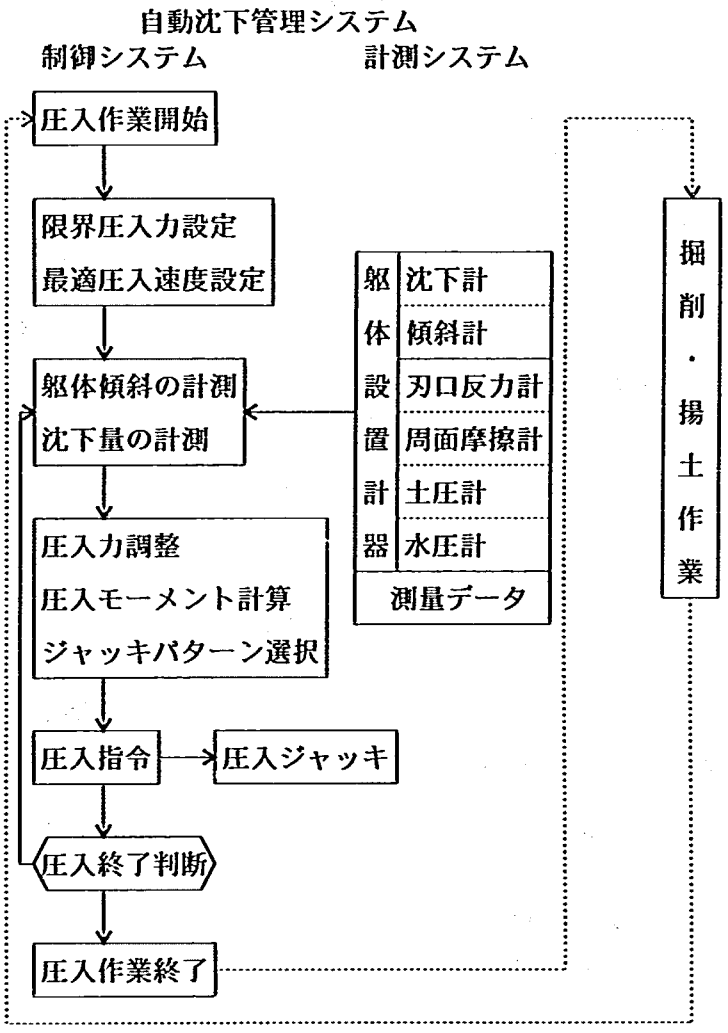
4）異常監視

システムには２段階の異常処理機能を保有している。「油圧過大」「系統内油圧差過大」等、安全確保のために緊急性の高い項目については強制的に非常停止を行う。また、比較的緊急性の低い項目についてはランプおよびブザーによる警報を発令し、掘削・揚土システムへもその情報を伝達する。

（2）沈設管理の方法

1）沈設作業フロー

自動化オープンケーソン工法（SOCS）自動沈下管理システムを用いた標準的な沈設作業のフローを、図－4．3．4に示す。



図－4．3．4　沈設作業フロー図

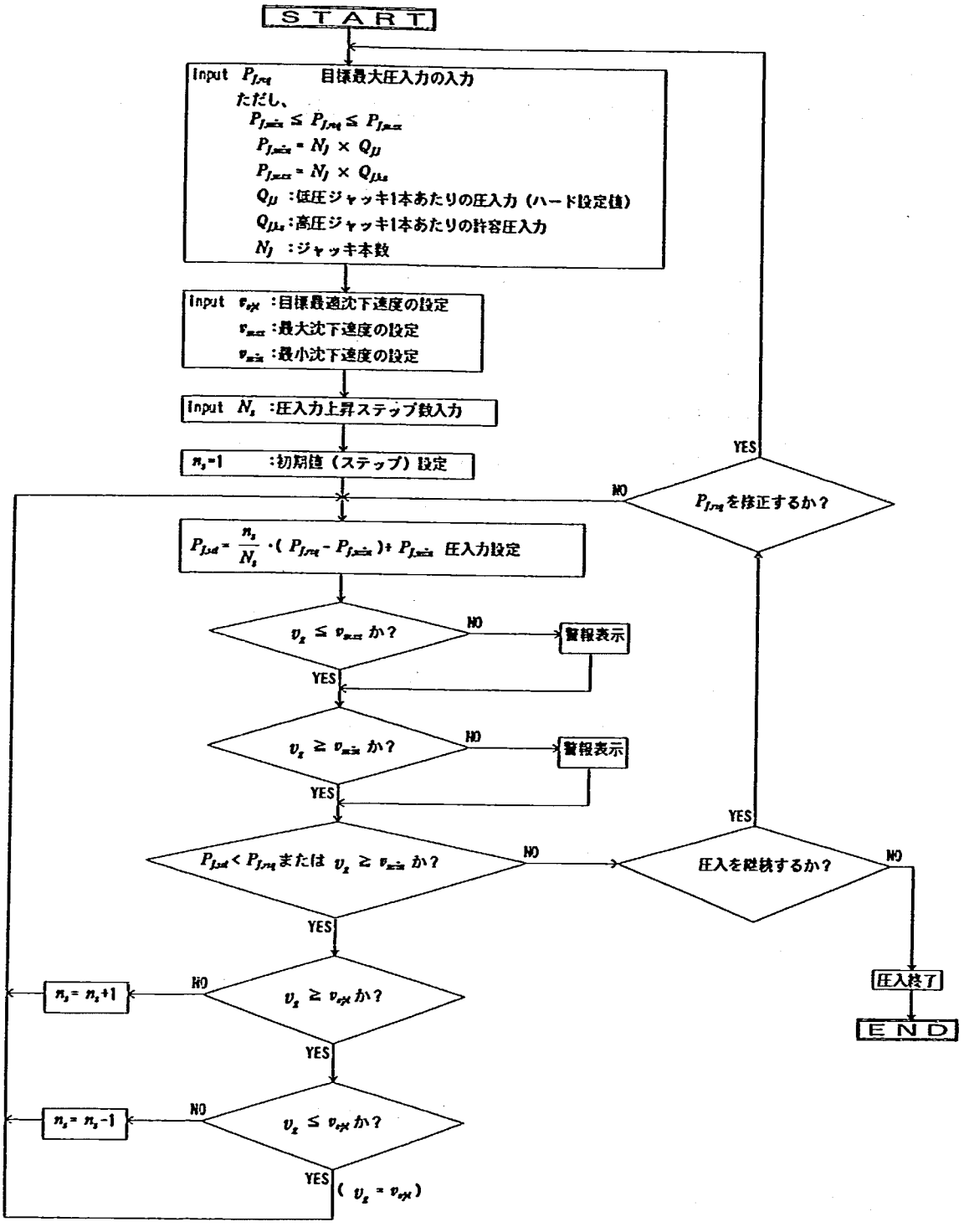
2）自動沈下管理システムによる沈下管理

自動沈下管理システムは、図－4．3．5のフローにしたがって、ケーソンを自動的に圧入する。このとき、圧入の前準備として、

① 沈下管理に関するパラメータ

② 異常処理に関するパラメータ

等を数項目ずつ設定する必要がある。その設定に従い圧入は自動的に行われる。



図－４．３．５　圧入管理フロー

なお、自動化オープンケーソン工法（SOCS）の場合、自動水中掘削機と併用すれば、刃口下についても均等な掘削が可能であり、さらには、刃口反力を大幅に低減することが可能なため、より高品質なケーソンの沈下管理が可能となる。また、刃口下の掘削状況を観測し、刃口反力の変動や、微小な変位に対する警報機能も備えているので、さらに高度な沈設管理も可能である。

4．4　実証施工実験

4．4．1　実験概要

（1）実験目的

実証施工実験は、自動掘削・揚土システム、沈下管理システムを用いたオープンケーソンの沈下掘削の実証、およびプレキャスト躯体システムによる躯体構築を実証するために表－4．4．1に示す内容について把握・確認するために行った。

表－4．4．1　実験目的および試験確認項目

	実験目的	試験確認項目
全体	工事全体の施工性、施工能率の把握	・施工能率 ・施工管理データ
躯体構築工	プレキャスト部材設置の施工性、施工能率の把握	・プレキャスト部材の搬送能率 ・継手部の応力変化、構築精度 ・モルタル、接着剤等の消耗部材使用量 ・安全性、作業性
	プレキャスト部材と場所打部との接合性の把握	・PC鋼棒の精度とPC部材平面精度 ・消耗部材使用量
掘削・揚土工	機械（掘削機、揚土機、圧入設備）の性能把握	・組立時の構造 ・運転時の性能 ・操作性、安全性、整備性
	掘削能率の把握	・各地層における掘削能率 ・両機の関連作業性
	掘削機と揚土機の連携把握	・操作性、安全性、整備性
	揚土機と圧入設備との連携把握	・機械とシステムとの関連作業 ・安全性、整備性
沈下管理工	圧入姿勢制御性能の把握	・圧入沈下性能、沈下精度 ・沈下制御手法の適切性 ・圧入機器、計測機器の操作性、安全性、整備性 ・ケーソンの挙動と沈下抵抗力の評価
	周辺への影響の把握	・周辺地盤変状

（2）土質概要

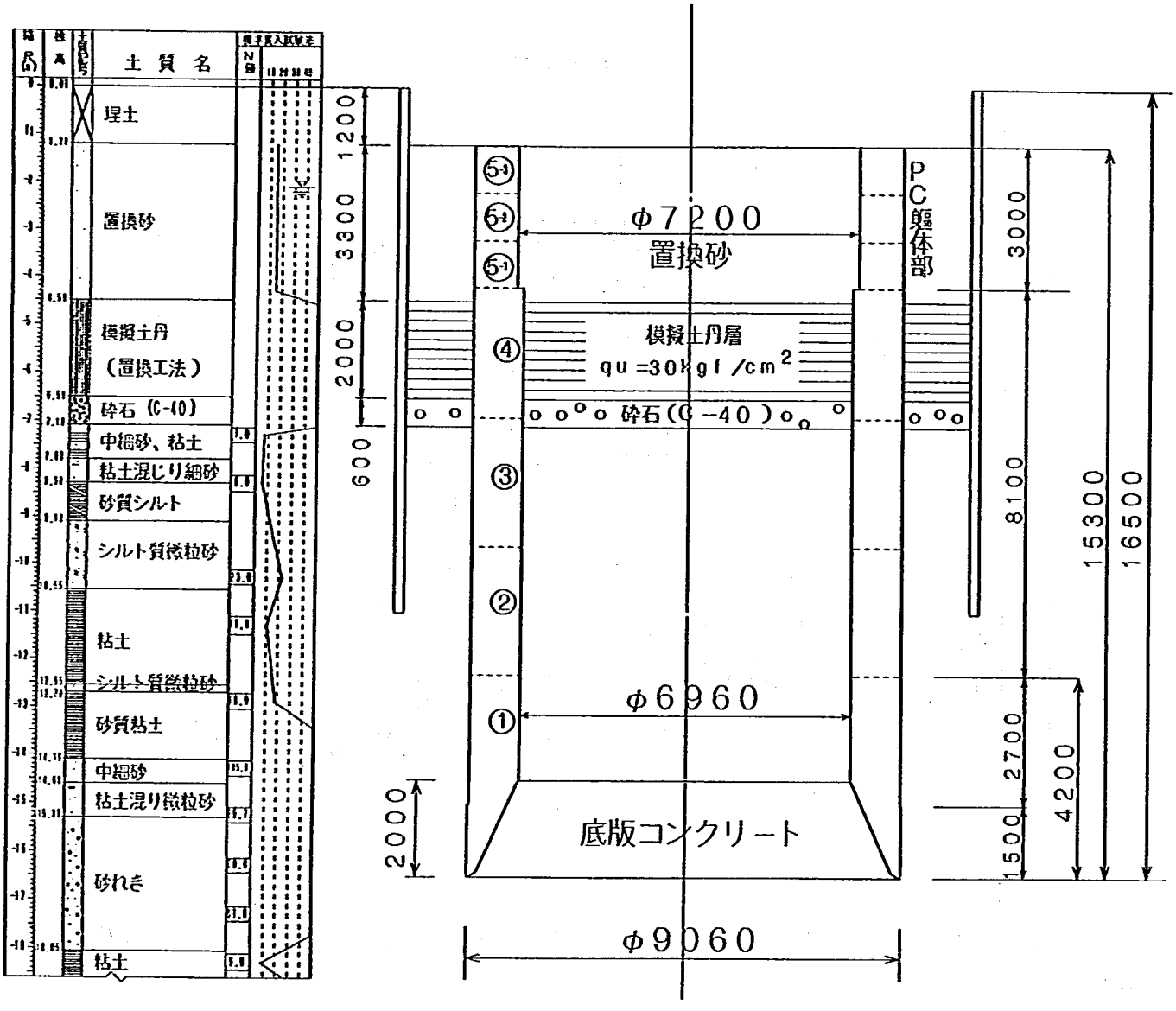
実験場所として選定されたケーソン沈設地点の柱状図を図－4．4．1に示す。なお、地下水位は、G.L.－2．1mとした。

（3）ケーソン概要

図－４．４．１に実証施工実験のケーソン一般構造図を示す。

ケーソンの外径は、φ＝９．０ｍ、内径φ＝６．９６ｍ(ＰＣ部φ＝７．２０ｍ)、高さＨ＝１５．３ｍ である。第１ロット～第４ロットは場所打ち躯体、第５ロットはプレキャスト躯体(Ｈ＝１．０ｍ×３段)とした。

また、実証施工実験対象地盤に土丹層が存在しないため、土丹相当地盤(q_u＝３０kgf/cm²)を作成した。



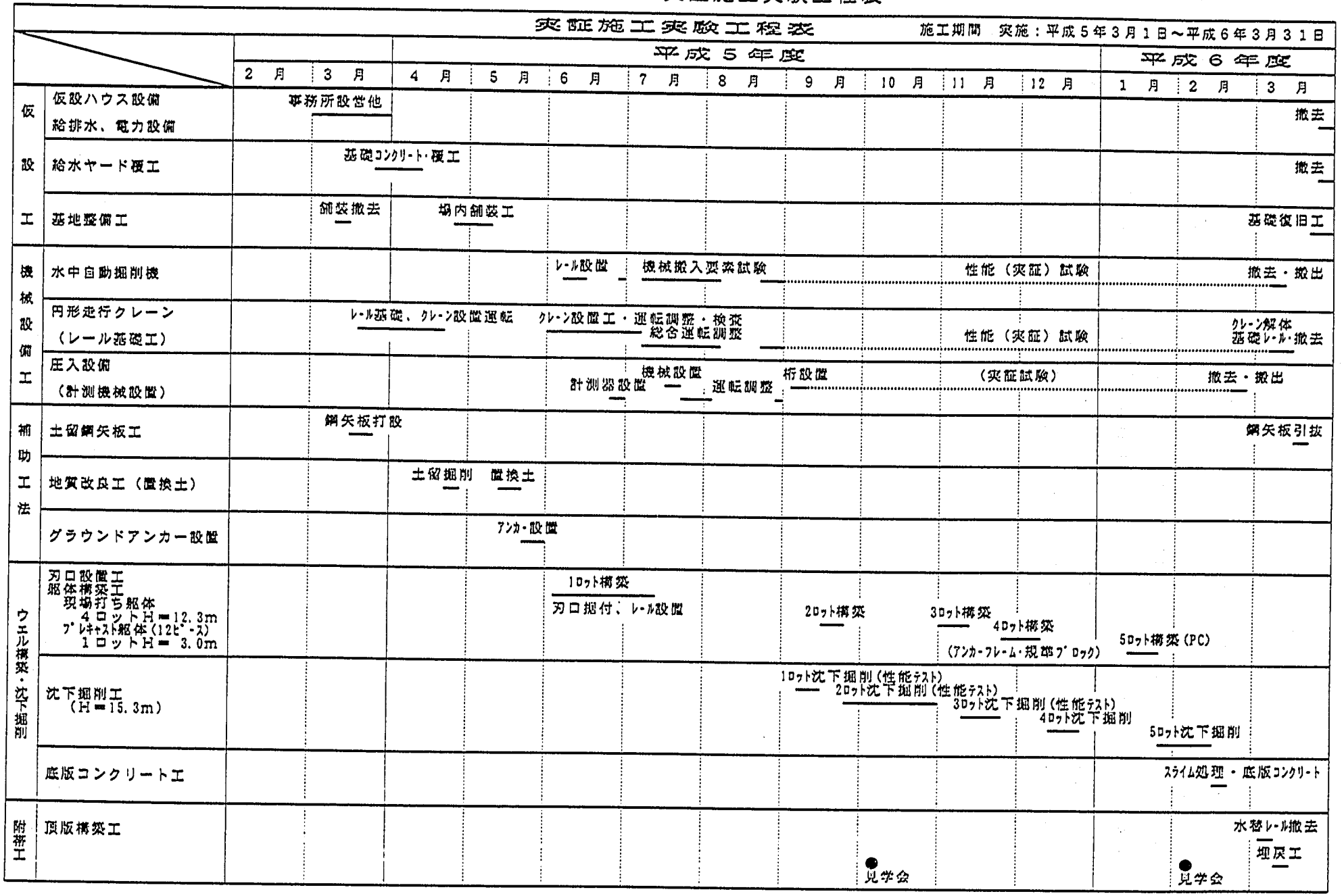
図－４．４．１　土質柱状図および実証施工実験ケーソン一般構造図

（4）実験工程

本工事は、平成５年３月１日から仮設工事として事務所設営、場内舗装等を行い、揚土機の走行レール敷設、補助工法の鋼矢板打設を行った。５月には地盤改良、グラウンドアンカーを設置し、６月に刃口設置、第１ロットを構築した。６月から８月まで掘削機要素試験、クレーン総合運転調整を行い、９月から第１ロットを沈下させ、１２月までに現場打ち躯体工で第４ロットの構築・沈下掘削までを行った。平成６年１月からは、プレキャスト躯体工として第５ロット構築・沈下掘削し、２月から３月に底版コンクリート打設、埋戻し、撤去工を行い、平成６年３月３１日をもって実証施工実験を終えた。

実証施工実験の工程表を表－４．４．２に示す。

表－４．４．２　実証施工実験工程表



（5）実験工事数量

表－4．4．3に数量総括表を示す。

表－4．4．3　数量総括表

工　種	名　称		摘　要	単位	数量
躯体構築工	刃口据付工			式	1
	現場打ち躯体	鉄筋工	SD295	t	8.4
		型枠工		掛㎡	607
		ｺﾝｸﾘｰﾄ工	早強　σck=210kgf/㎠	㎥	282
		足場工		式	1
	ﾌﾟﾚｷｬｽﾄ躯体	本体ﾘﾝｸﾞ工		㎥	69
		基準ﾘﾝｸﾞ工		式	1
		ｱﾝｶｰﾌﾚｰﾑ工		式	1
	スライム処理工			式	1
	底版コンクリート工		水中不分離性 σck=240kgf/㎠	㎥	113
	付帯設備			式	1
沈設工	掘削工			式	1
	残土処分工			㎥	987
	グラウンドアンカー工		φ135㎜, PC鋼より線5×φ21.8 定着長19.0m, 自由長27.3m	本	8
	圧入工			式	1
計測工	計測器設置工			式	1
	計測工			式	1
機械設備工	自動水中掘削機本体			式	1
	自動水中掘削機関連装置			式	1
	掘削機レール工			式	1
	自動揚土機			式	1
	揚土機走行レール及び基礎工			式	1
	圧入制御装置			式	1
ソフト開発	自動水中掘削機制御			式	1
	自動揚土機制御			式	1
	自動圧入制御			式	1
仮設工	土留工		鋼矢板SP-Ⅲ(L=11m) リング梁	式	1
	地盤改良工		模擬土丹 q_u=30kgf/㎠ 一次掘削工，砕石，砂置換	式	1
	基地整備復旧工		含資材ヤード覆工，仮囲工 給排水設備	式	1
	埋戻工			㎥	698

4．4．2　工事報告

（1）仮設工事

1）地盤改良工

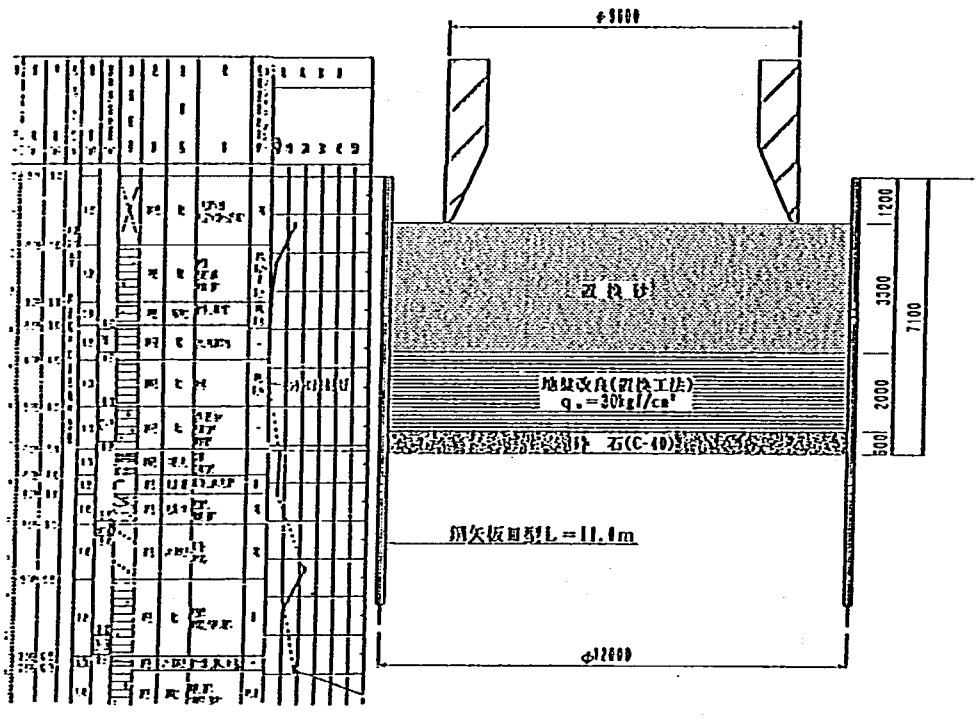
自動水中掘削機の性能確認試験を行うため、

GL.－1．2m～－4．5m を砂置換（川砂 N=15）

GL.－4．5m～－6．5m を模擬土丹（セメント系固化改良q_u＝30kgf/cm²）

GL.－6．5m～－7．1m を砕石置換（C－40）

を実施し、図－4．4．2に地盤改良の断面図を示す。



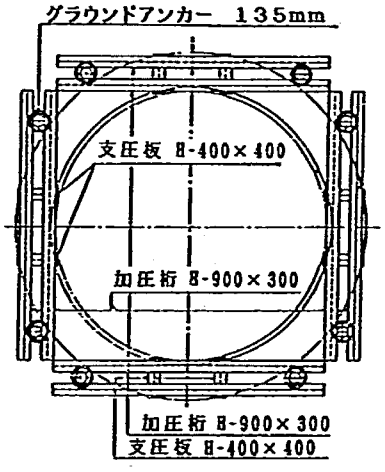
図－4．4．2　地盤改良断面図

2）グラウンドアンカー工

圧入反力用として、アンカー力 １５０ｔｆのグラウンドアンカーを設計し、ケーソン周囲に８カ所に打設した。

アンカーの仕様は、

削孔径φ１３５㎜、ＰＣ鋼より線 ５×２１．８㎜、削孔長４６．３m、定着長１９．０mとなっている。８本のうち１本に適性試験を、残り７本に確認試験を実施し、設計通りのアンカーが施工されていることを確認した。図－４．４．３にアンカーと反力桁の配置図を示す。



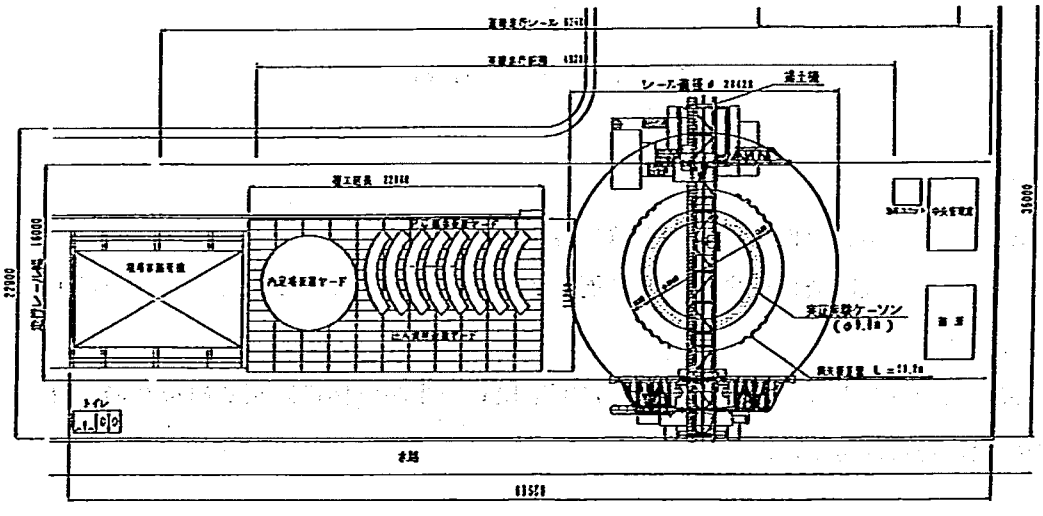
図－４．４．３　グラウンドアンカー

3）揚土機レール工

揚土機のレールは、直線部と円形部から構成される。

基礎型式としては、地盤状況に合わせて杭基礎と直接基礎を併用した。

レール材料には角鋼（６５×６５）を用い、受桁（H形鋼）上に溶接固定する方式を用いた。図－４．４．４に揚土機レールの敷設平面図を示す。

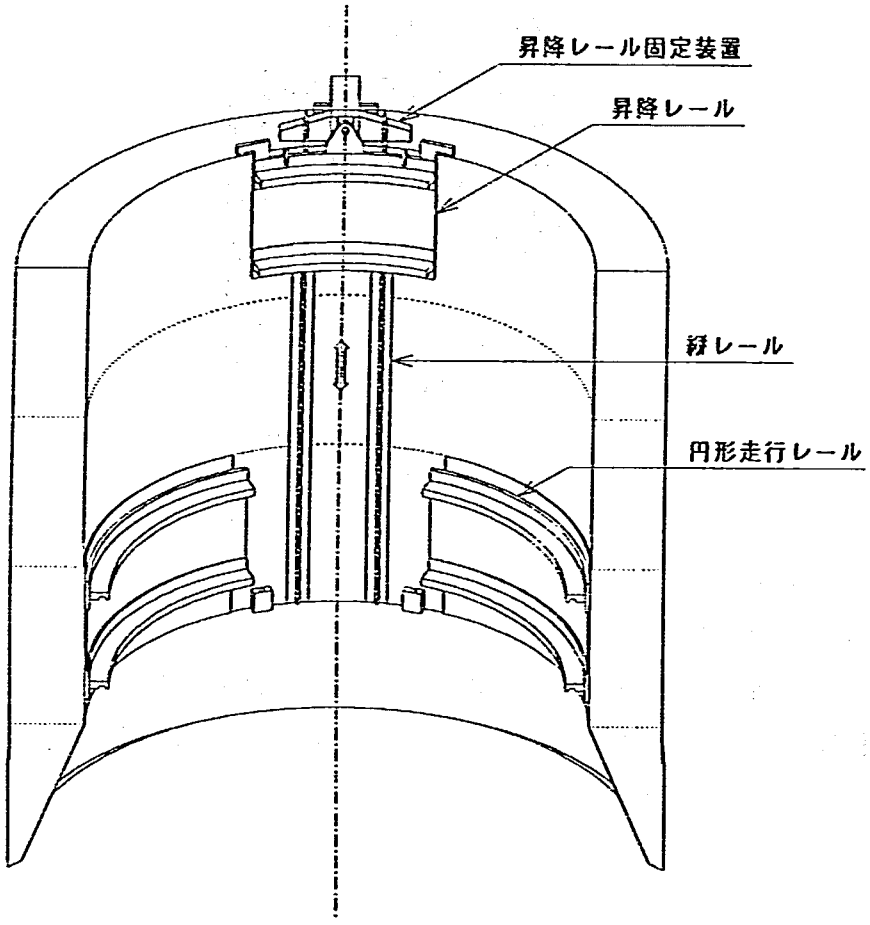


図－４．４．４　揚土機レール

4）掘削機レール工

掘削機レールは、走行レール、昇降レール、縦レールから構成される。

走行レールは、第１ロット内壁に１周にわたって設置するもので、第１ロットのコンクリート打設時に内型枠を兼用する形で設置した。剛性と高い設置精度が要求されるため、第１ロットコンクリート打設時の不等沈下に特に注意して施工した。縦レールは、各ロットの躯体にアンカーボルトを埋め込んで固定し、昇降レールがスムーズに上下できることを随時確認した。昇降レールは、第１ロット施工時走行レールと一体にして組み立てた。掘削機レールの設置状況を図－４．４．５に示す。



図－４．４．５　掘削機レール

（２）刃口工事

置換砂地盤上に、木製皿板を隙間なく敷設した。

刃口金物は、水中掘削機の爪先が刃口に衝突する可能性があることを考慮し、高さ１．５ｍ分を鋼板で覆う構造とした。

また、刃口部のコンクリート打設と同時に掘削機レールが躯体に固定されるため、打設時の不等沈下と変形の防止に特に注意した。

（3）プレキャスト躯体工事

1）プレキャスト部材の製作

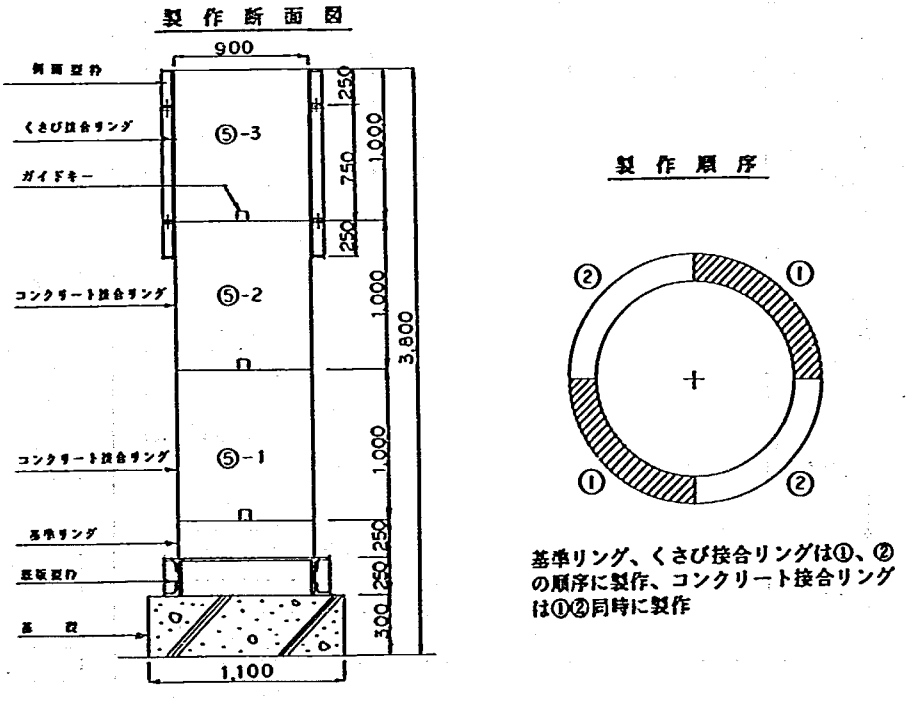
プレキャスト躯体システムで使用される部材は、シールドセグメントと同様に４分割した部材を千鳥配置に積み上げる。鉛直方向はＰＣ鋼棒で緊張する構造であるため、部材の接合面に隙間があってはならない。そのためプレキャスト部材の製作方法は、マッチキャスト方式を採用した。

しかし、この方式を用いた場合でも、現場で構築する１段目のプレキャスト部材は、工場製作時と同様の状態で設置されなくてはならない。そのため、現場打ちコンクリートとプレキャスト躯体との間に、基準リングと称する部材を介在させ、１段目を精度良く設置できるように工夫した。この基準リングは、仮置きヤードで分割したピースをリング状に組立て、その状態で設置するもので、クレーンの許容吊上げ荷重の関係から部材の高さを標準躯体ブロックの１／４とした。

製作する部材の種類、形状寸法、および製作数量は表－４．４．４、図－４．４．６に示すとおりである。製作方法は縦打マッチキャスト方式で、構築順に従って下から順番に製作した。

表－４．４．４　プレキャストブロック形状寸法

名称＼規格		形状寸法（mm） 外径	内径	厚さ	高さ	数量（ﾘﾝｸﾞ）	備考
基準リング		9,000	7,200	900	250	1	４分割
ｺﾝｸﾘｰﾄ接合リング	⑤－1	9,000	7,200	900	1,000	1	〃
	⑤－2	9,000	7,200	900	1,000	1	〃
くさび接合リング	⑤－3	9,000	7,200	900	1,000	1	〃

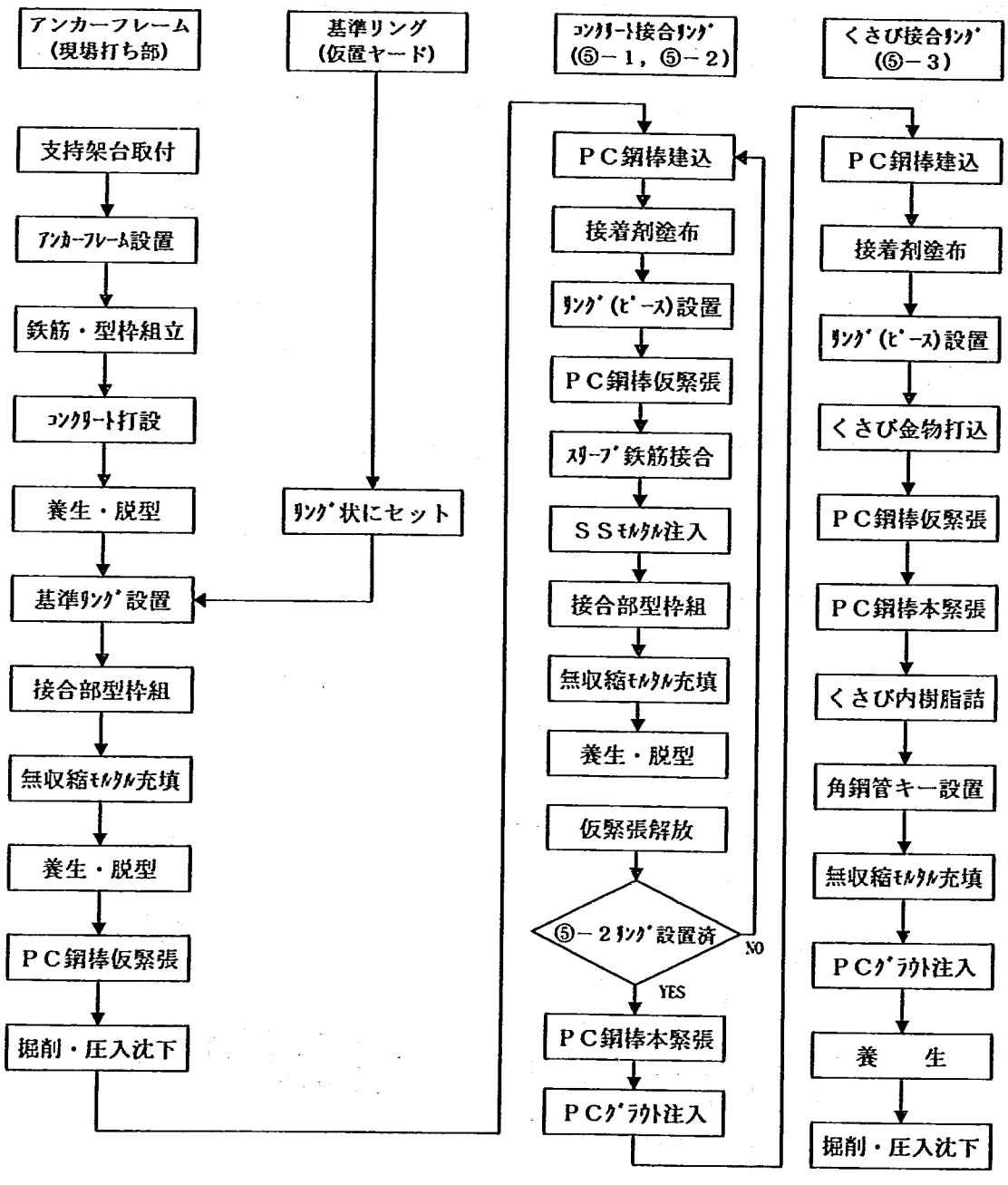


図－４．４．６　プレキャスト躯体製作概要図

2）プレキャスト部材の構築

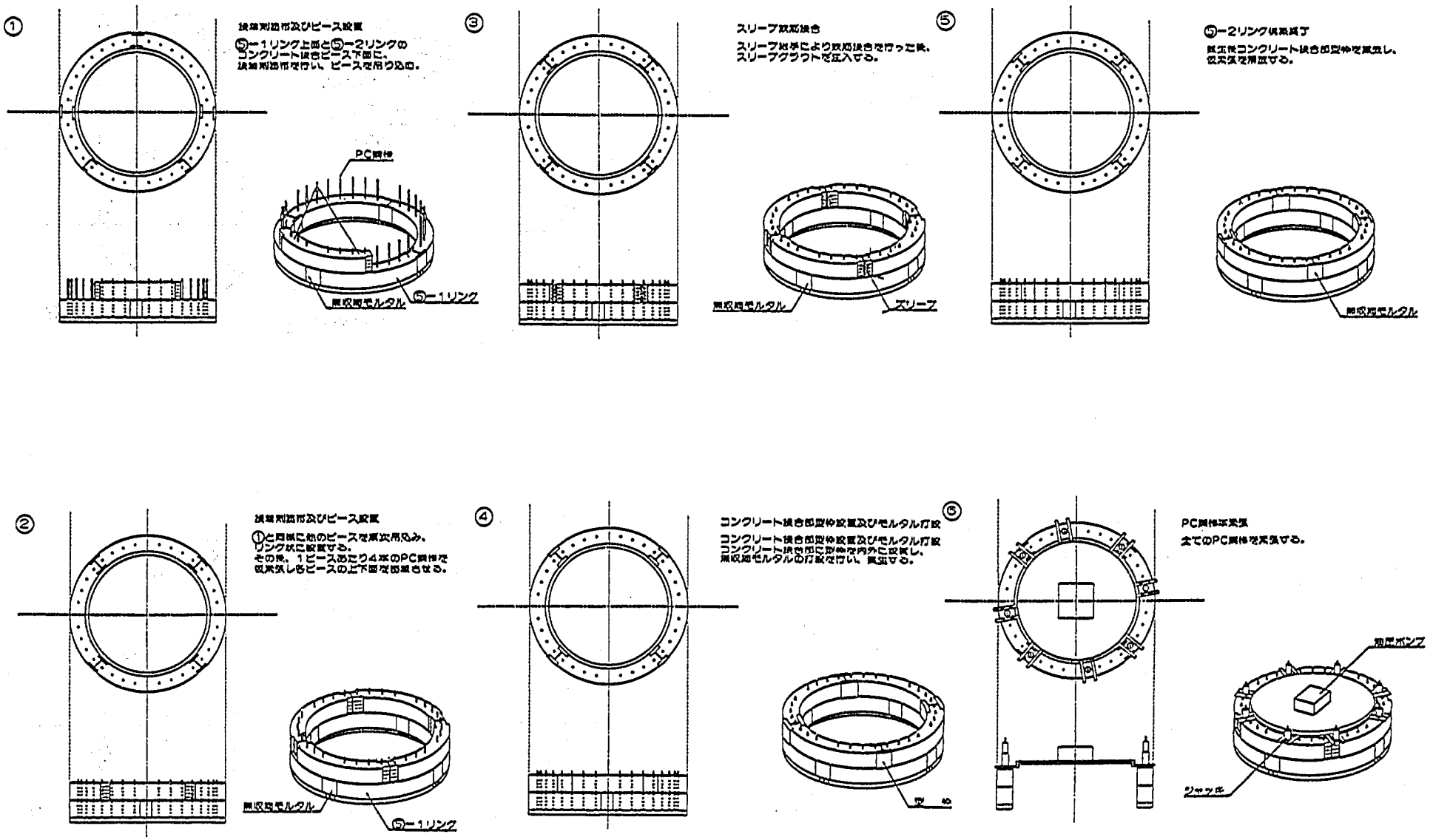
① 構築概要

構築の手順は、まず現場打ち躯体部にアンカーフレームを埋め込み、現場打ち躯体とプレキャスト部材が鋼棒で緊張結合できるようにした。次に完成した現場打ち躯体の上に、プレキャスト部材構築の定規となる基準リングを設置して、コンクリート接合リング（⑤－１，⑤－２）、くさび接合リング（⑤－３）の順にプレキャスト部材を設置した。実証施工実験工事の目的であるプレキャスト部材設置の施工性、施工能率の把握とともに、継手部の応力変化および構築精度の確認等を行った。アンカーフレーム設置からプレキャスト部材設置完了までの構築フローは、図－４．４．７～４．４．９に示す。

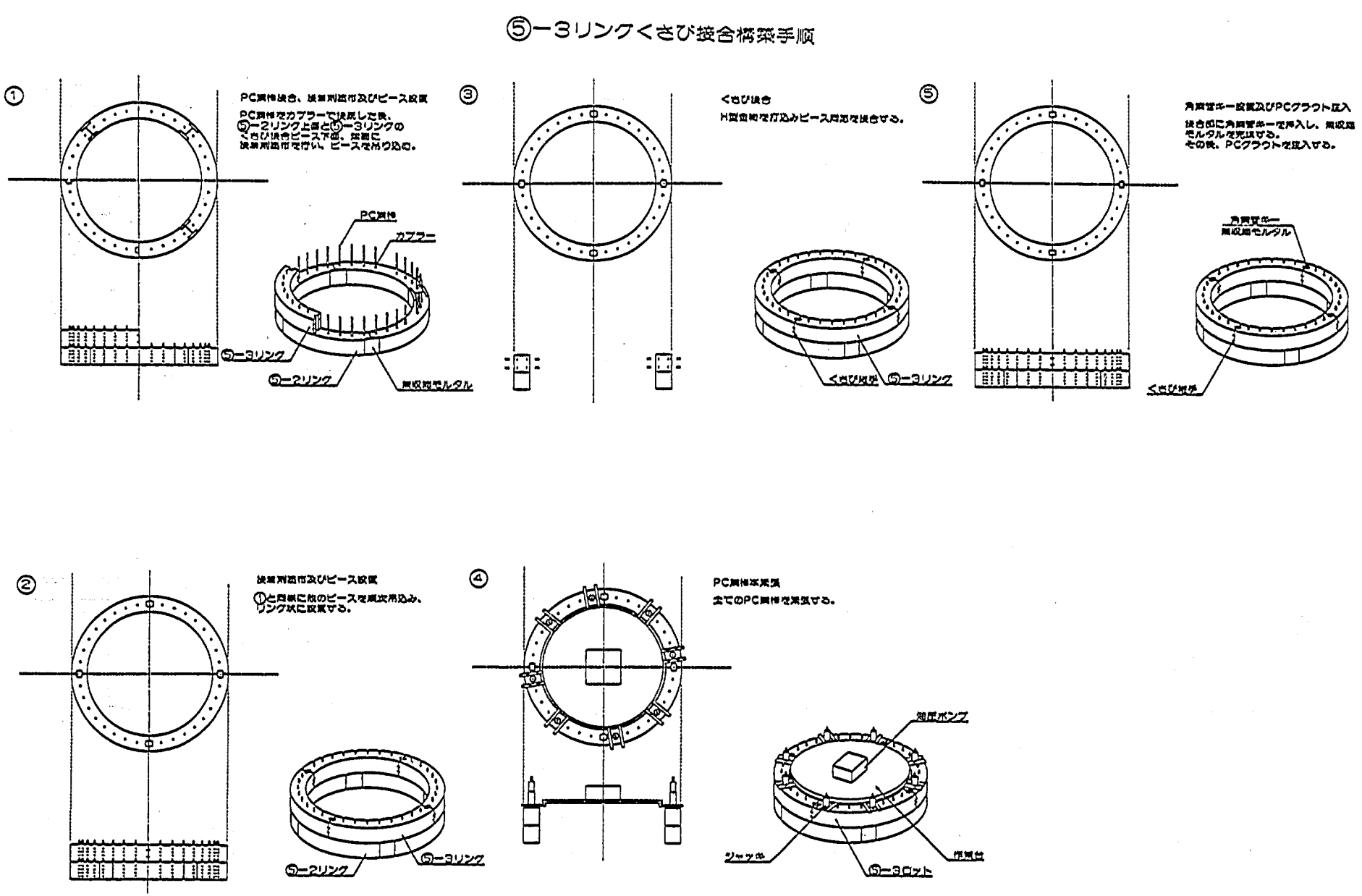


図－４．４．７　プレキャスト躯体構築フロー図

⑤－2リング鉄筋コンクリート接合構築手順



図－４．４．８　プレキャスト躯体構築手順図（コンクリート接合継手）



図－４．４．９　プレキャスト躯体構築手順図（くさび接合継手）

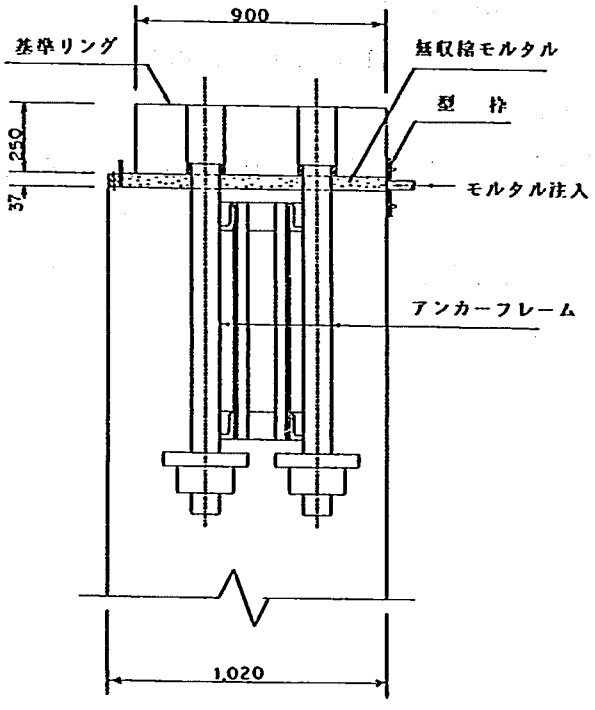
② アンカーフレームの設置

現場打ち躯体部とプレキャスト躯体部とを結合する目的で、現場打ち躯体部にＰＣ鋼棒定着用のアンカーフレームを埋め込む。アンカーフレームの設置精度は、プレキャスト部のＰＣ鋼棒の建て込み、部材の設置など構築に重大な影響を与えるため、据え付けにあたっては前もって地組を行い、製作精度を確認するとともに設置位置の微調整を繰り返し行って、鋼棒の建て込み等に支障がないようにした。また、プレストレス導入により現場打ち躯体部にひび割れ等の影響がでないいように、コンクリート強度に合わせ埋め込みプレートを大きくするとともに補強筋を配置した。

③ 基準リングの設置

基準リングの各ピースは、製作時の精度を再現した状態で設置できるように、鉛直接合面に配置したガイドキーを利用してリング状に地組（ボルト接合）し、現場打ち躯体部上でレベル調整した受台の上に、専用の吊り治具で設置した。設置位置は掘削機昇降レールを基準として、ＰＣ鋼棒の建て込みに支障がないよう、アンカーフレームのシース管と位置合わせを行いながら設置した。

現場打ち躯体部との接合目地部は、側面に型枠をあてがい無収縮モルタルをポンプ圧送して充填し、現場打ち躯体部と一体化を図った。④ロットの掘削、圧入沈下作業時の影響等を考慮して、現場打ち躯体部と基準リングの仮緊張（１５ｔｏｎ×１６本）を行い、安全な沈下作業ができるようにした。



図－４．４．１０　基準リング設置概要図

④　コンクリート接合リング（⑤－１，⑤－２リング）の設置

コンクリート接合継手⑤－１リングの構築は、ＰＣ鋼棒建て込み接続後、水平接合面の上下に接着剤を約１．０㎜の厚さに吹き付け塗布し、ガイドキーに合わせながら設置した。設置に当たっては、鋼棒のネジ部が破損するのを保護するとともに、鋼棒孔への通りをスムーズにするため、ＰＣ鋼棒先端にガイドキャップを装着した。これにより、短時間で容易に設置することができた。

しかし、４ピース設置後余分な接着剤を押し出すために、仮緊張（１００ｔｏｎ×１６本）を行った際、そのうちの１ピース中央部にひび割れが発生した。

仮緊張後、鉛直継手部の鉄筋にスリーブを挿入し、ポストグラウト方式でＳＳモルタル（セメント系無収縮性高強度グラウト材）を充填した。その後箱抜き部に鋼製型枠をセットして無収縮モルタルをポンプ圧送で充填し、⑤－１リングの接合を完了した。

同様に⑤－２リングの各ブロックについても接着剤吹き付け後設置し、手順に従って構築を行う予定であったが、設置リハーサル時に４ピースとも水平接合面に間隙が確認された。このままの状態で緊張を行うとひび割れる可能性が高かったため、その後の対応について検討を行い構築方法の一部を変更して行った。

⑤　くさび接合リング（⑤－３）の設置

くさび接合継手である⑤－３リングの構築も、ＰＣ鋼棒を建て込み、接合面に接着剤を塗布した後に設置した。塗布面は水平面だけでなく鉛直面にも行った。

この⑤－３リングの内３ピースはガイドキーに合致し、水平接合面もマッチングしており問題なく設置できたが、残りの１ピースについては、⑤－２リングの１箇所の鉛直目地部の間隔が、⑤－１リングのひび割れの影響等で広がっており、ガイドキーが合致しなかった。そのため、ブロックの底面を一部切削して設置を行った。設置そのものは比較的スムースに行われたが、コンクリート接合リングに比べ隣接目地部の隙間が小さいため、リハーサルを繰り返すと、接触により部材端部に欠けが生じた。

設置後くさびの挿入（挿入力　３．５ｔｏｎ）を行ったが、目地間隔の広がっている箇所は挿入ジャッキで押し込める位置まで木づちでくさびを軽く叩き、挿入した。

⑤－３リングの仮緊張は荷重を　２０ｔｏｎ/本に落として行い、本緊張は１日の接着剤の養生時間をとって行った。

（4）沈下掘削工事

1）概要

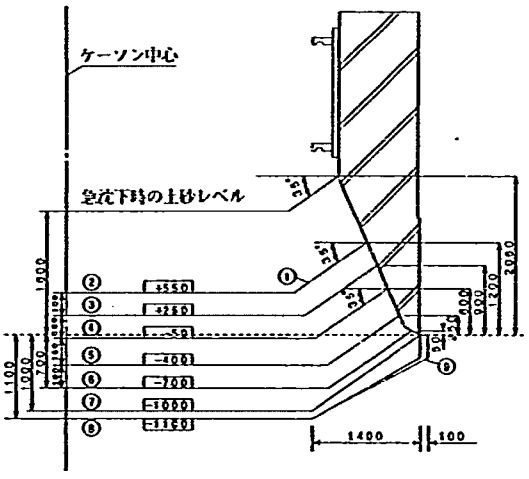
ケーソンの沈設作業は掘削作業と圧入作業の繰返し作業である。

掘削作業は、自動水中掘削機を用いて、ケーソン内地盤の土質、刃口反力、躯体の姿勢等に応じて、最適な掘削断面パターンと掘削平面パターンを選定し自動で行った。

圧入作業は、躯体に設置した計測器からのデータを基に、自動沈下管理システムにより行った。

ケーソン内の掘削残土は、自動水中掘削機と連動した自動揚土機の油圧グラブによって自動揚土され、土砂ホッパーに排出される。ホッパー内の残土が一定量以上になった場合には機械を一時停止し、ダンプトラックで搬出した。

図－4．4．11に、掘削パターンの説明図を示す。



掘削断面パターン

主な土質における掘削断面パターンは

軟土質　：②

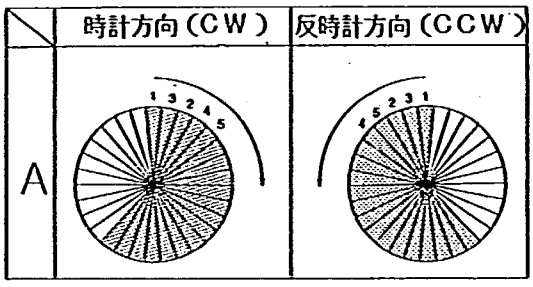
中土質　：⑤

中硬土質：⑦

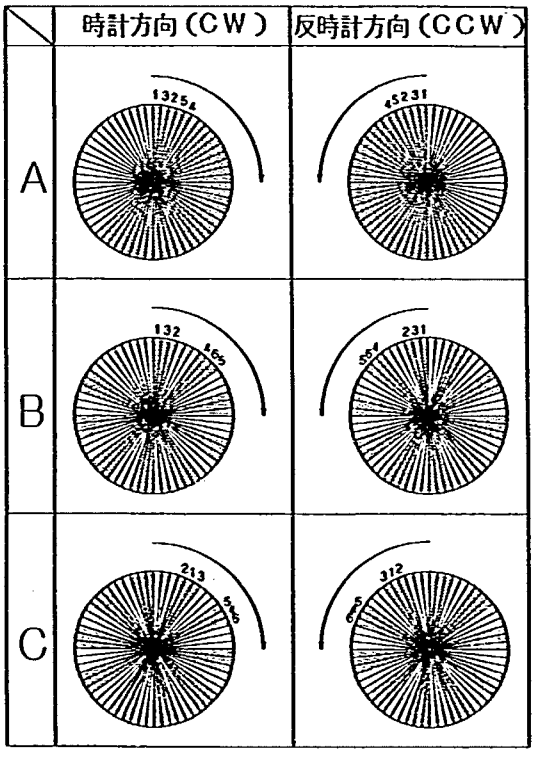
硬土質　：⑧

超硬土質：⑨

が適する断面と考えられる。



掘削平面パターン（広幅0.55㎥バケット使用：全周を30分割）



掘削平面パターン（狭幅0.23㎥バケット使用：全周を60分割）

図－4．4．11　掘削パターン

2）第１ロットの沈設

第１ロットの沈設は、置換砂層の沈設が主体である。

躯体の安定が確保できる範囲内で、各掘削パターンの掘削精度の確認を行うことに主眼をおいて沈設した。図－４．４．１２に沈設状況図を示す。

3）第２ロットの沈設

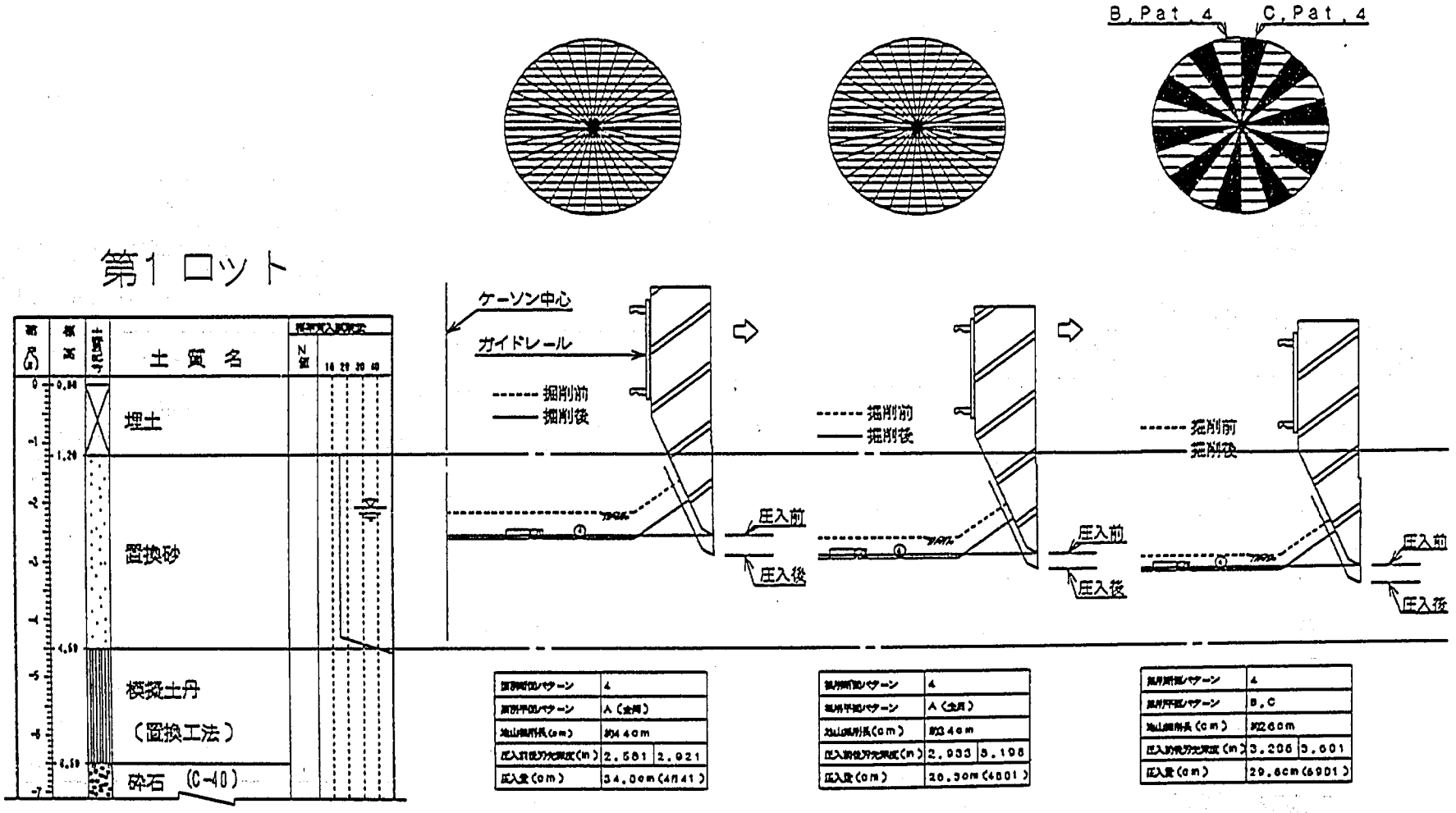
第２ロットは、模擬土丹層（q_u＝３０kgf/cm^2）の沈設が主体であり、掘削力および硬質土層における掘削能率の確認を行った。図－４．４．１３に沈設状況図を示す。

4）第３、第４ロットの沈設

第３、第４ロットでは、主にN＝１０～２０ 程度の比較的ゆるい砂質土層、粘性土層の水中掘削を行った。図－４．４．１４に沈設状況図を示す。

5）第５ロットの沈設

第５ロットでは、粘性土(N＝１０)，硬質粘土(N≧５０)，細砂(N≧５０)および砂礫(N≧５０)と各種の土質にわたって沈設した。図－４．４．１５に沈設状況図を示す。

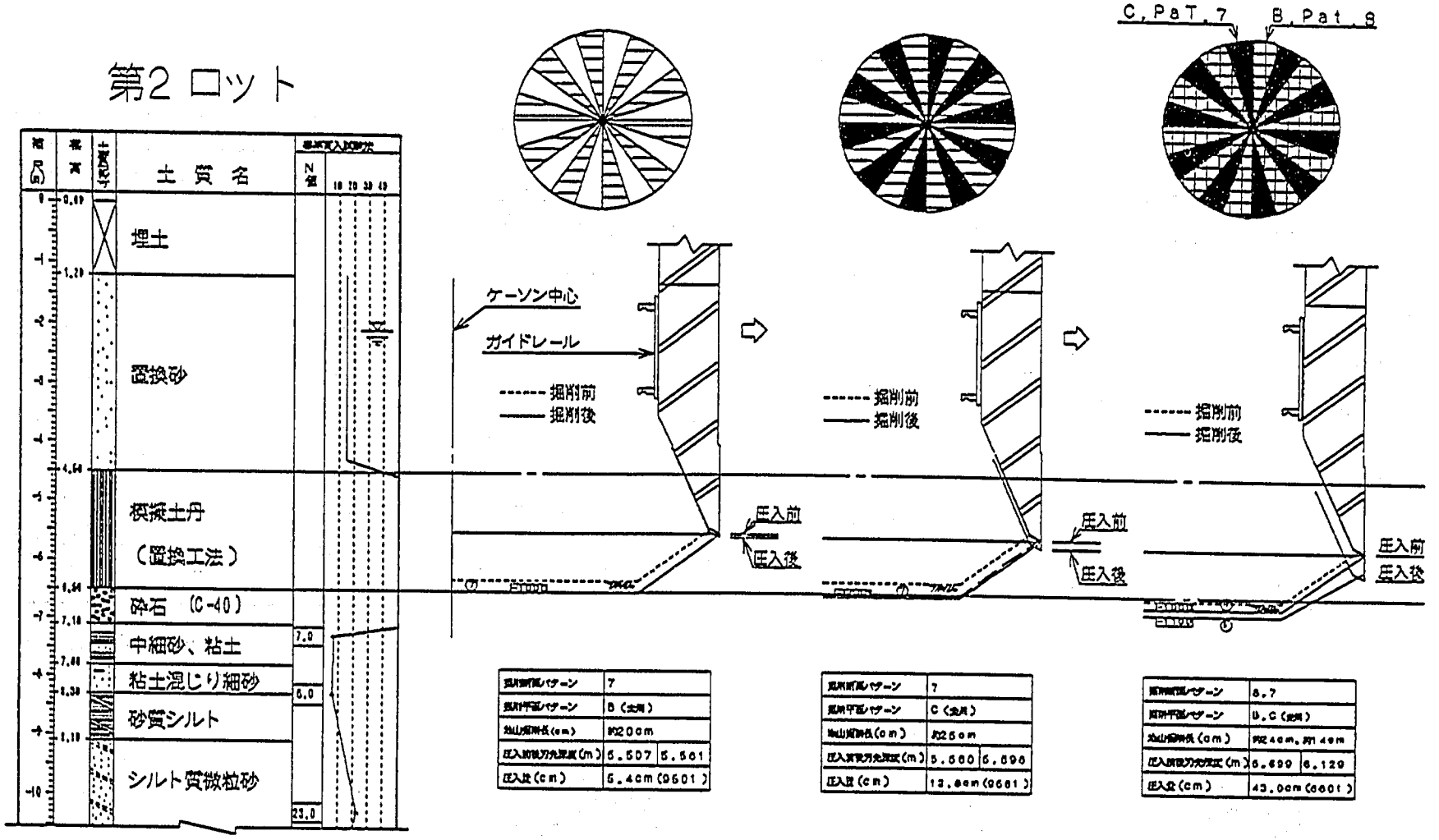


圧入パターン	4
圧入平面パターン	A（全周）
地山掘削長(cm)	約44cm
圧入前後刃先深度(m)	2.581 2.921
圧入量(cm)	34.0cm(4N41)

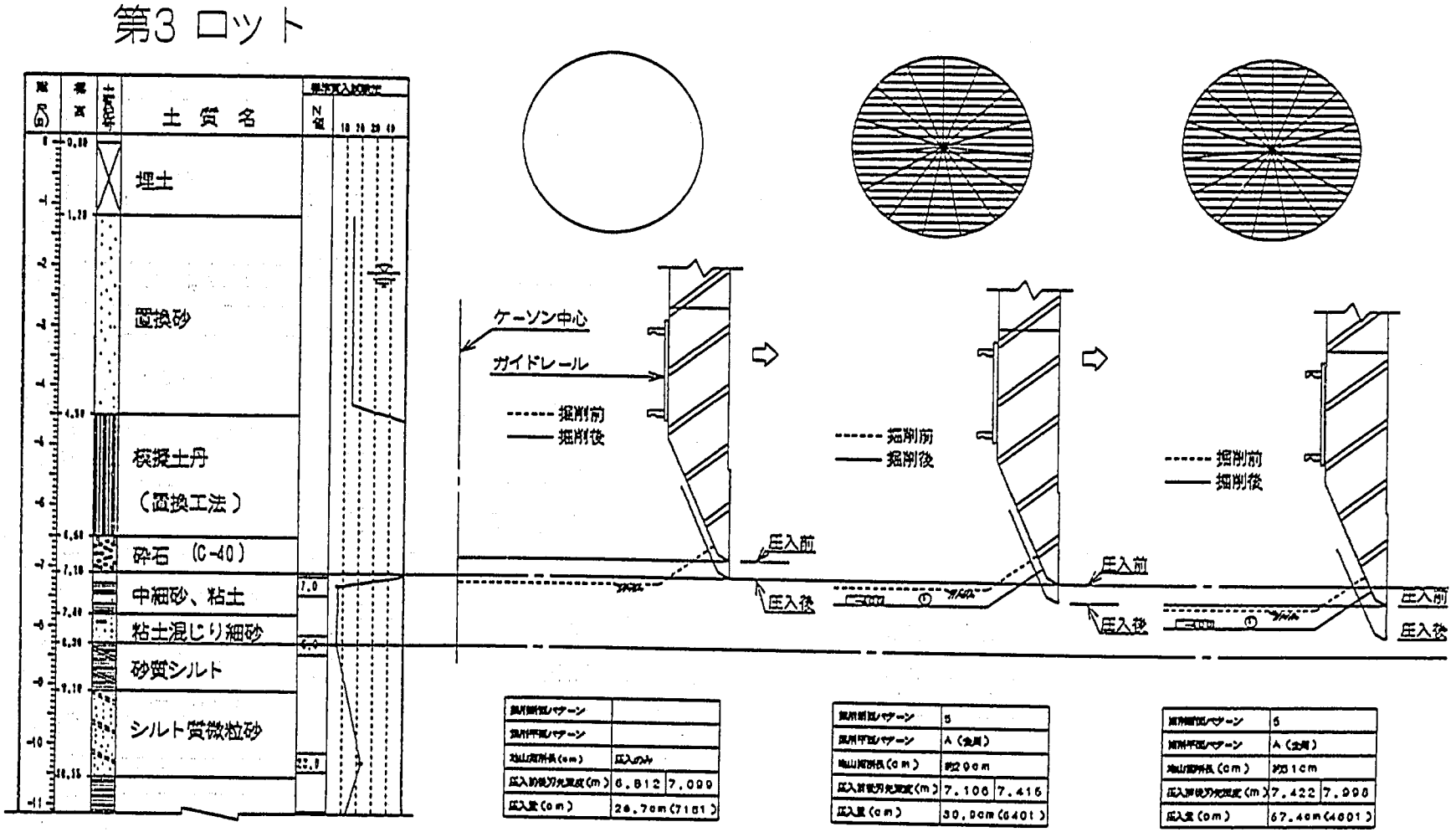
掘削断面パターン	4
掘削平面パターン	A（全周）
地山掘削長(cm)	約34cm
圧入前後刃先深度(m)	2.933 3.196
圧入量(cm)	26.3cm(4501)

掘削断面パターン	4
掘削平面パターン	B,C
地山掘削長(cm)	約26cm
圧入前後刃先深度(m)	3.206 3.601
圧入量(cm)	29.6cm(6901)

図－４．４．１２　第１ロッド沈設状況図

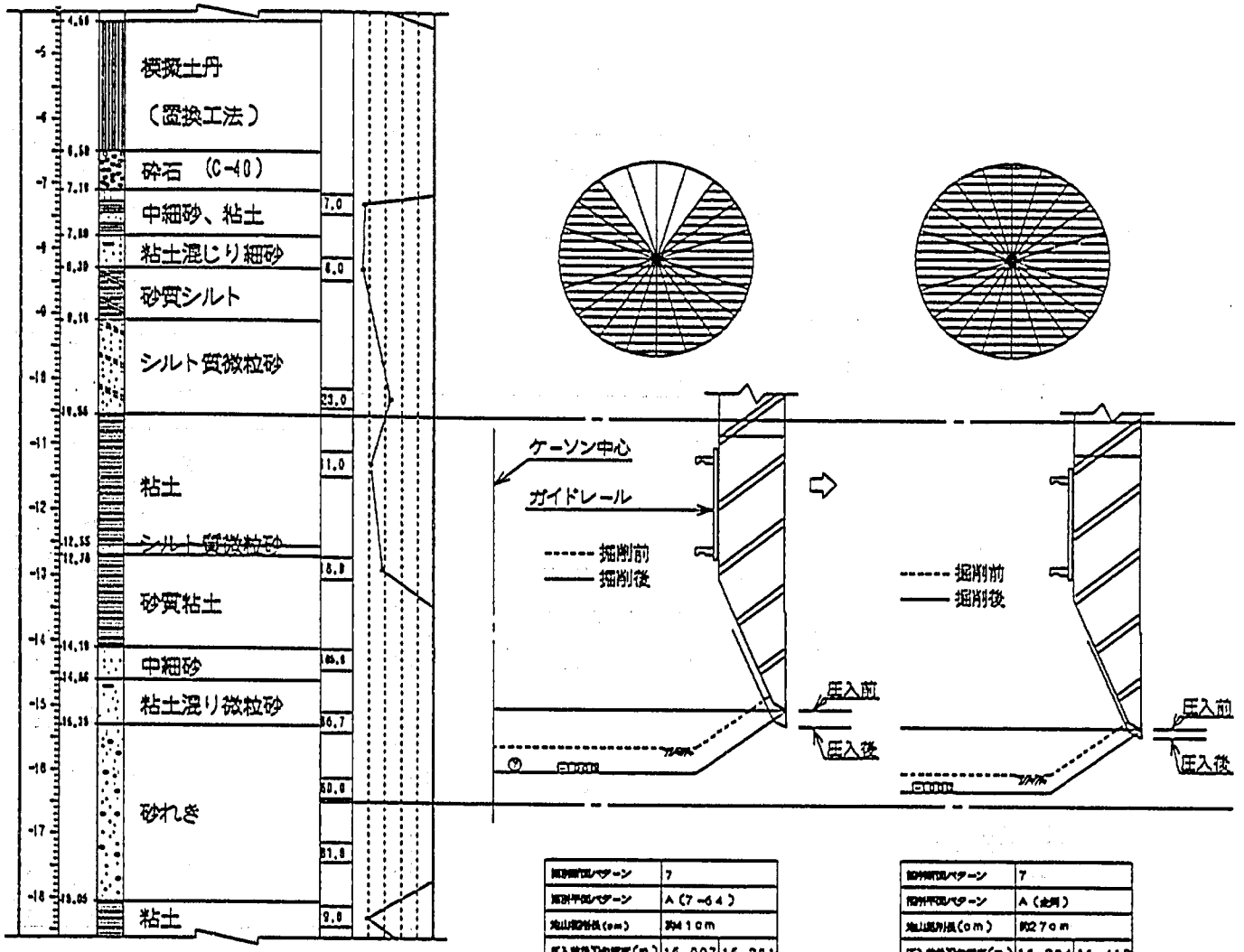


図－４．４．１３　第２ロッド沈設状況図



図－４．４．１４　第３ロッド沈設状況図

第5 ロット



	7	
	A (7-64)	
	約41cm	
	15.007	15.261
	27.48m(11681)	

	7	
	A (北側)	
	約27cm	
	15.264	15.412
	12.66m(11601)	

図－４．４．１５　第５ロッド沈設状況図

4．4．3　実証施工実験結果

（1）自動掘削・揚土システム

1）自動水中掘削機

① 確認事項

試作機の性能、掘削能率、自動水中掘削機と自動揚土機の連携および自動揚土機と圧入設備との連携等の把握を行い、実用機製作時の資料とする事とした。

a．機械の性能：走行性能、把持機能性能、離脱機能性能、車両性能。

b．掘削能率：各地層における掘削能率。

c．自動水中掘削機と自動揚土機の連携把握。

・自動水中掘削機の昇降動作とレールへの着脱性確認。

・非常離脱機能の確認。

d．自動揚土機と圧入設備との連携把握。

② 結　果

a．自動水中掘削機の性能

表－4．4．5　自動水中掘削機の性能

	確認項目	結　　果
走行性能	走行動作	掘削時には、掘削土がかき回され泥土化し、レールの摩擦係数が低下し、駆動時にスリップが発生した。クリーナーの再検討。レール間の段差２㎜は、乗り越え可能。機動・停止時のショック影響なし。
	走行速度	気中走行時に油温が上昇し、速度が低化したが調整範囲内。
	停止精度	１００㎜以内で基準値内。
	安定性	問題なし。
把持機能・性能	把持力	掘削中滑りがなく、問題なし。
	設置・解除	時間的問題なし。センサー調整後問題なし。
離脱機能・性能	離脱動作	設置・取り外し時の作業性および時間問題なし。
	安定性	吊り上げ時問題なし。
車両性能	車両の動作	問題なし。
	強　度	機械・フレーム・レール問題なし。

b．掘削能率

表－4．4．6　掘削能率

刃先深度(m)	土質	N値	掘削パターン	サイクルタイム(min)	積掘削土量 ((m³/h)	備考
3.0	置換砂		④	2′ 14″	19.7	気中掘削
5.5	模擬土丹		⑦	1′ 56″	8.0	q_u=30kgf/cm²
5.7	〃		⑧	2′ 06″	7.4	
8.3	粘土	6	④	1′ 35″	24.5	広幅バケット
9.6	シルト質砂	20	⑤	3′ 11″	14.2	〃
11.7	粘土	13	〃	3′ 13″	12.8	〃
13.1	硬質粘土	45	〃	3′ 54″	9.9	〃
13.4	硬質粘土	80	⑥	3′ 11″	4.7	
15.3	砂礫	80	⑦	2′ 08″	7.3	

c．自動水中掘削機と自動揚土機の連携

イ）昇降動作、レールへの脱着

表－4．4．7　自動水中掘削機の昇降動作、レールへの脱着

項目	結果	評価
脱着時間	仮置レール→昇降レール 10.0min 昇降レール→仮置レール 8.5min	良好 〃
縦レール内の昇降	円滑に昇降	良好
昇降時の重心	吊り中心から10mm内部	実用上問題なし
昇降レール固定ピン	スムーズに接続可	良好
ケーブルリールの同調	昇降速度に同調	良好

ロ）非常離脱性能

非常離脱（把持、離脱）が確実に働かないことが懸念されたが、電気系統、レバー系統ともに良好に作動することが確認された。

d．掘削・揚土システムと沈下管理システムの連携

イ）データ無線電送

自動沈下管理システムから掘削・揚土システムに刃口深度、天端高、傾斜角、圧入作業モード、警戒情報を無線モデムを用いて伝送した。これらの伝送は問題なく、充分実用に耐えうると考えられる。

ロ）掘削時のケーソンの安定性

急激沈下等の発生はなかったが、掘削中傾斜が発生し圧入を行ったケースが１回あった。その際、異常警報（傾斜過大、油圧低下）は設定通りに発令され、最善の対応を行うことができた。

2）自動揚土機

① 走行性能

自動揚土機は、従来の門型クレーンの直線走行に、円形走行を行う機能を持つ荷役設備である。

当初、円形走行時に車輪角度をフリーにして走行させたが、負荷率が大きくなる（１００%）ため固定する方法に変更し問題を解消した（２５～５０%）。

② 横行性能

自動運転時の、制御盤上の設定値と実停止位置の誤差を計測した。

表－４．４．８　自動揚土機横行性能

計測位置	誤　差	評　価
土砂ﾎｯﾊﾟ-上	2～7㎜	良　好
昇降ﾚｰﾙ近傍	14～23㎜	良　好
仮置ﾚｰﾙ近傍	26～44㎜	良　好

停止精度は、上記計測通り満足しているが、掘削機の昇降レール⇔仮置レール設置時については、停止精度が１０㎜以内でないと設置することは不可能なため黙視確認しながらの作業が必要である。

③ 深度計性能

油圧クラムシェルの位置を検知するために、ワイヤーロープの移動量を計測する深度計を設置した。この精度を確認するために、速度、荷重を変化させ所定の位置での停止誤差を計測し、精

度を算出した。

結果は、精度が１．２～２．３％であり当初設定した基準値１０％を大きく上回った。ただし、掘削機の据付け作業等を考えると１０㎜程度の位置決めが必要であり、コスト面を考慮すると、手動操作による据付けが合理的である。

④ 荷重計性能

ワイヤを６本掛けとし、吊荷重 ０ｔ、５ｔ、１０ｔとし仮置レール近傍および昇降レール近傍で荷重計の精度を計測した。

計測位置は、地上付近、 ５ｍ程度巻上げた箇所、巻下げて再び地上付近とした。誤差は最大１０％程度であった。特に仮置レール近傍で荷重の小さい５ｔ吊りで比較的大きな誤差がでている。荷重の変化をとらえる場合には、誤差が１ｔ以下あればほとんど問題はないが、作業の自動化を考慮した場合には、より精度の高い計測が必要となる。

⑤ 自動揚土性能

地盤が硬質の場合、単に閉動作を行っても土砂を掴まない。土質によって閉動作開始高さ、閉時間、繰返し回数等を調整する必要がある。

実際の施工では、揚土モード、掴み位置および、掴み高さを土質や土砂の集土状態を観察しながら設定したため、効率的な揚土が可能であった。

3）掘削揚土能率

一連の掘削実証実験の結果、掘削揚土能率は表－４．４．９の通りであった。

表－４．４．９ 掘削揚土実績

土 質	施工ロット	バケット	掘削揚土能率			
			掘削軌跡による(㎥/h)		ﾎｯﾊﾟ-重量による(t/h)	
置換砂	1	広	9.86	8.02	16.90	13.03
		狭	6.53		14.28	
	2	狭	7.12		12.23	
模擬土丹		狭	6.09	6.09	4.76	4.76
砕石		狭	6.26	6.26	9.46	9.46
粘性土	3	広	11.12	11.84	15.40	15.22
	4	広	12.30		14.50	
	5	広	11.63		18.58	
硬質粘土		広	11.22	8.65	14.09	12.43
		狭	5.22		10.49	
細砂		狭	4.80	4.80	10.44	10.44
砂礫		狭	6.86	6.86	11.39	11.39

（2）沈下管理システム

1）実験項目

自動沈下管理システムについては圧入姿勢制御性能の把握、掘削・揚土システムとの連携性能の確認等を目的として、

① 圧入沈下能率

② 姿勢修正効果、沈設精度

③ 沈設中のケーソンの挙動

④ 姿勢制御システムの適切性

⑤ 異常時処理性能

⑥ 圧入機器の反応性

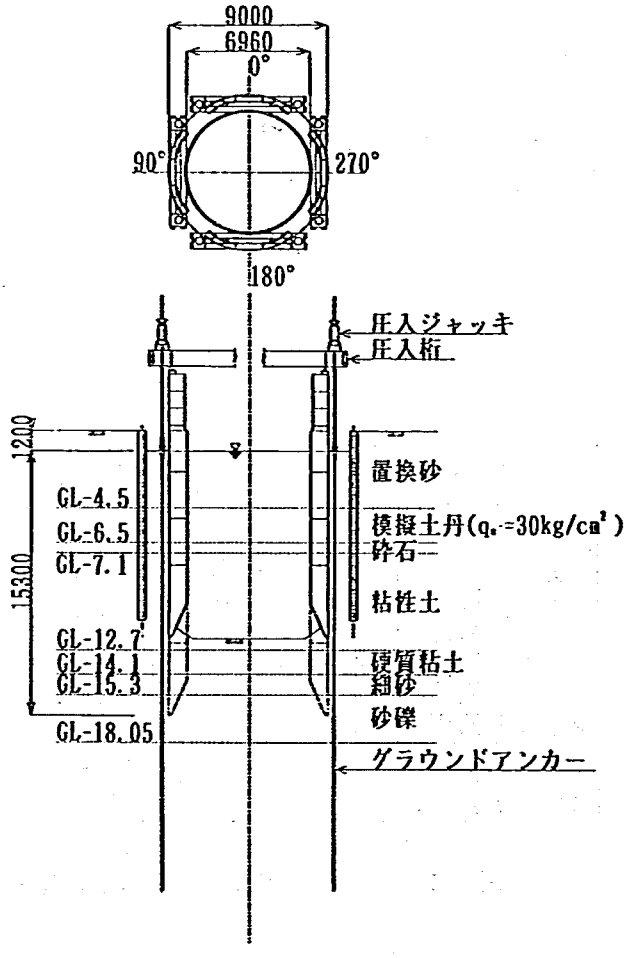
⑦ 計測機器配置の適切性

⑧ 操作性、安全性、整備性

⑨ 自動掘削・揚土システムとの同調性

の各試験項目について確認評価した。

なお、実証施工実験の沈設設備の概要を、図－４．４．１６に示す。



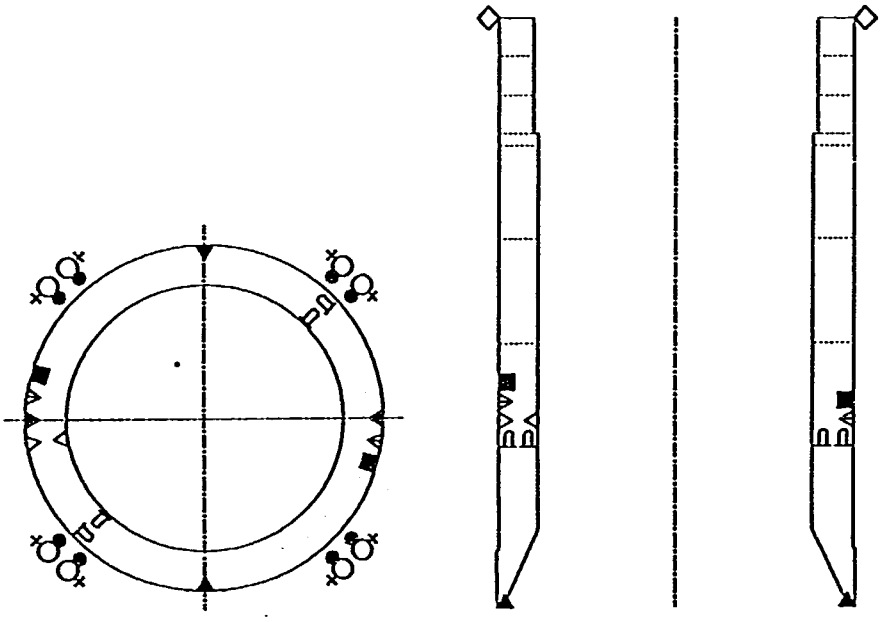
図－４．４．１６　実証施工実験沈設設備図

2）計測器の配置

図－4．4．17に計測器の配置図を示す。

計測機器の種類と数量は、施工規模、地盤条件、周辺環境等を考慮して決められる。

今回の実証施工実験の計測機器配置の適切性の評価は、その情報の必要性、信頼性および費用の評価であり、自動化オープンケーソン工法(SOCS)の各システムの目的に合う計測機器の配置が必要である。本制御システムは圧入（圧入、修正）、緊張、盛替、非圧入（掘削、待機）の作業に必要となる躯体の位置、姿勢、圧入力等の観測情報が必要であり、その情報を提供する傾斜計、沈下計および油圧計等の計測機器は必要不可欠である。



計測器	台数	型式	測定範囲	単位	記号
沈下計	2	DTP-5MES	0～5000	mm	◇
傾斜計	4	DC-120	±120	min	Ⅱ
刃口反力計	4	GU-20B	0～20	kg/cm²	▲
周面摩擦計	2	GFM-20S	±2	kg/cm²	■
周面土圧計	2	GE-10B	0～10	kg/cm²	⧋
壁面水圧計	2	GP-10	0～10	kg/cm²	△
ジャッキ油圧計	8	PG-500KU	0～500	kg/cm²	○
盛替指示表示計	8		ON/OFF		×
収縮完了表示計	8		ON/OFF		●

図－4．4．17　実証施工実験計測機器配置図

① 沈下計

ケーソン躯体外壁天端付近に配置した。最低必要数は１台であるが、本自動沈下管理システムに必要不可欠な計測器であり、その重要度から予備の計測器を用意し２台設置した。躯体の外壁近傍にワイヤーを張るため、足場や掘削機の固定装置等と干渉する場合もあったが、計測データに影響がでないように配置した。沈下計はその重要度を考慮すれば、予備器は必要と思われる。

② 傾斜計

第２ロット躯体中に配置した。最低必要数は２台であるが、本自動沈下管理システムに必要不可欠な計測器であり、その重要度から予備の計測器を用意し４台設置した。

実証施工実験中では、第４ロットの沈設終了から第５ロットの構築開始までの休暇期間中に躯体コンクリート内部において１台の傾斜計配線に絶縁不良が発生したが、予備の計測器を用いて作業を継続することができた。計器の重要性を考えると、予備器の設置は必要と考えられる。

③ 刃口反力計

刃口先端部に等分して４台設置した。掘削時や圧入時のデータからは、計測器近傍の地盤の状況判断のための有効な情報が得ることができた。ただし、全刃口反力の値を把握するためだけなら、対面上に２台設置するだけでも充分である。

④ 周面摩擦計

刃口から５ｍの高さに２台配置した。全体として、比較的よく周面の状態を検知していたように思われる。しかしながら、フリクションカット部に周面摩擦力が集中するような場合も考えられるので、条件によっては設置位置検討の必要がある。

⑤ 土圧計

刃口から５ｍの高さに２台配置した。周辺状況の把握と、周面摩擦力の推測を目的として設置したものだが、周面摩擦力度との相関関係は得られなかった。

⑥ 水圧計

刃口から５ｍの高さに内外１台ずつ合計２台配置した。

3）システムの評価

実証施工実験は、平成５年３月～平成６年３月にかけて実施した。沈設は、ケーソン躯体を第１ロット～第５ロットの５ロットに分割して施工した。

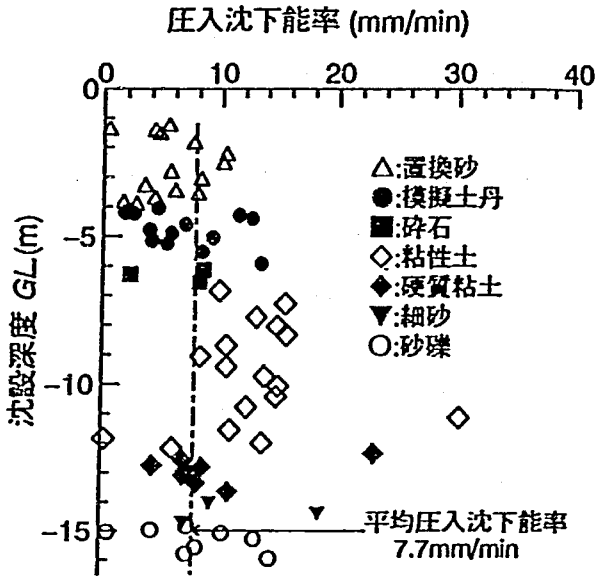
① 圧入時間

圧入作業時間、盛替作業時間は、次のように算出した。

圧入作業時間＝実圧入時間＋圧入前後の点検時間＋設定値の変更等の時間

盛替作業時間＝圧入ジャッキがストロークエンドに達して停止させたときから、次の圧入前の緊張を完了するまでの時間

今回の実験の結果によると、平均圧入時間は、９．８㎜/minであり、盛替はグリッパーロッド１単位長さ ３７０㎜に対して１回実施されるもので、平均盛替時間は、９．７min/１回となっている。圧入と盛替を合計した沈下能率は、７．７㎜/min であった。図－４．４．１８に圧入沈下能率をグラフ化したものを示す。

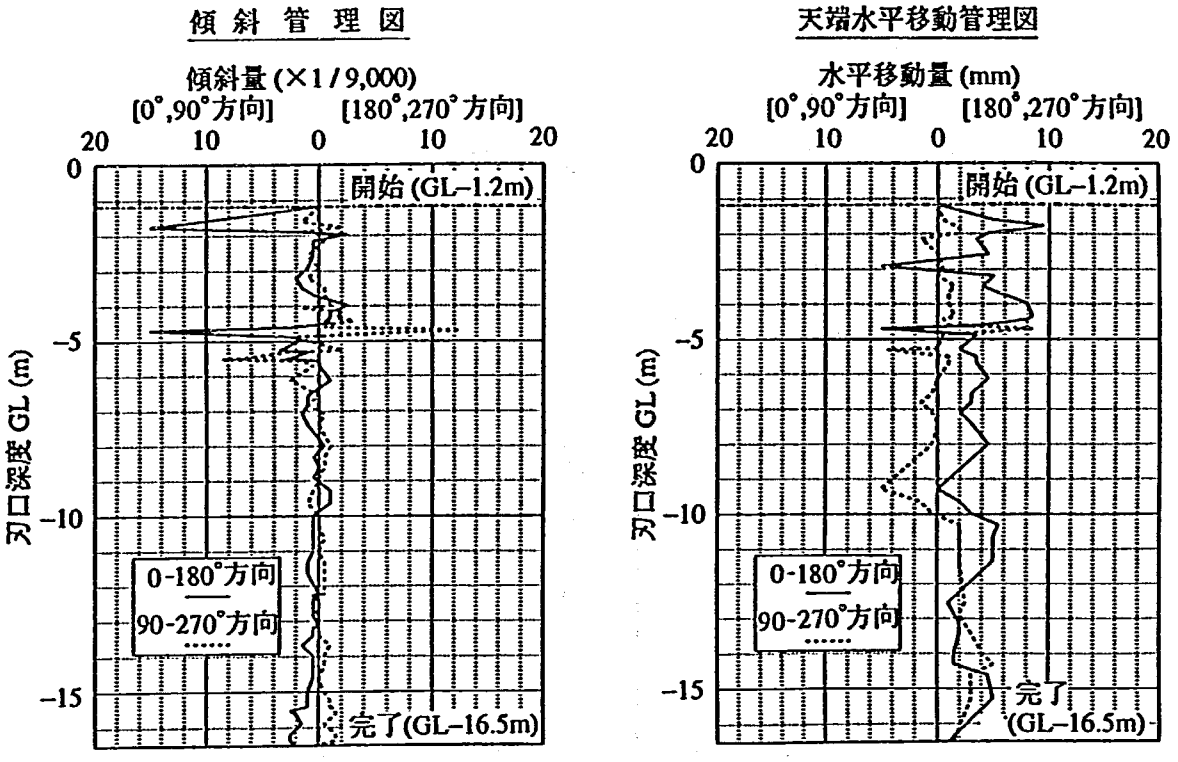


図－４．４．１８　圧入沈下能率

② 姿勢修正効果

常にシステムの姿勢制御機能が良好に作動し、工事完了まで高精度で沈設を実施することができた。沈設完了時における傾斜量は、1/5000(管理値＝1/300)、水平移動量は、天端で1㎜、刃口で6㎜(管理値＝100㎜)、回転変位量は、13′45″(管理基準値＝±3°)と、非常に高い施工精度で完了しており、姿勢制御システムの有用性を確認することができた。

図－4.4.19に、実証施工実験における実験ケーソンの位置・姿勢の管理記録を示す。



図－4.4.19　躯体傾斜および天端水平移動量管理図

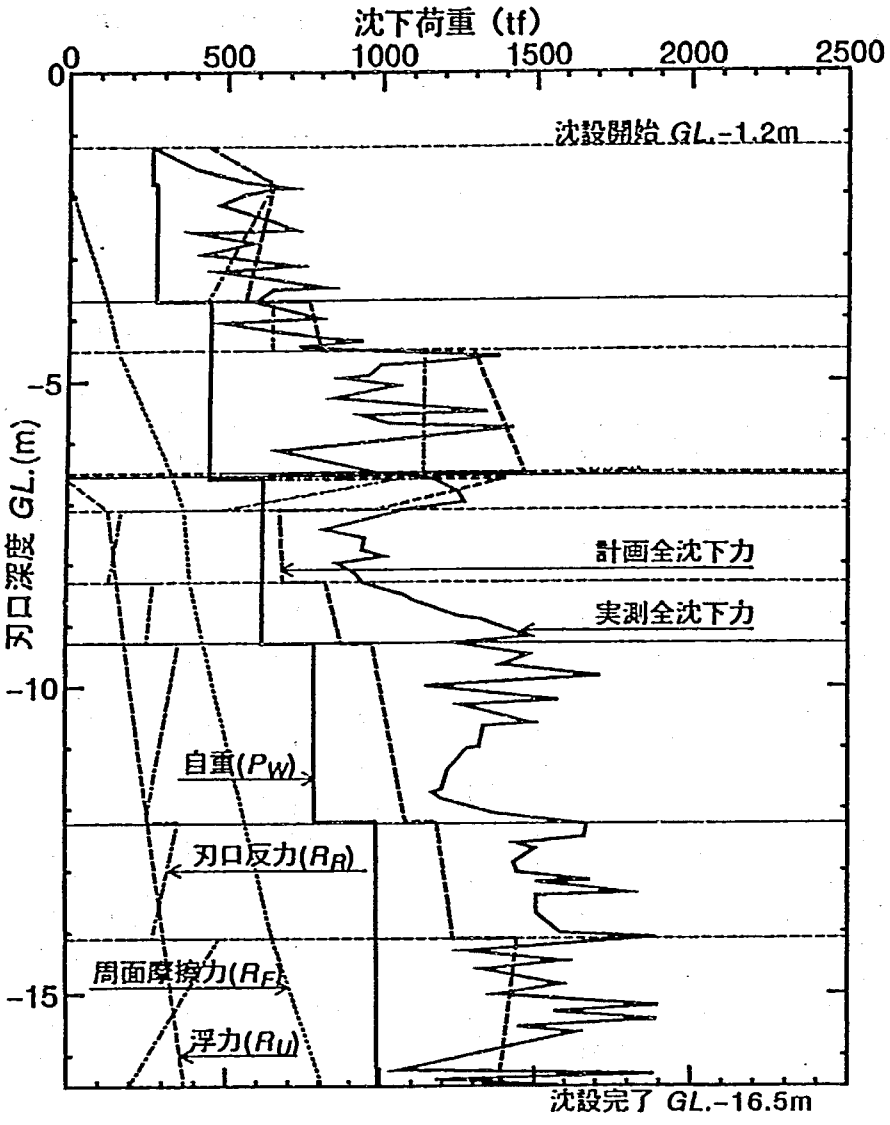
③ 荷重関係

図－4.4.20に実証施工実験の実績沈下関係図を示す。ケーソンの沈下挙動のうち、沈下力、沈下抵抗力、浮力については、概ね良好な一致を見ることができた。ただし、刃口反力および周面摩擦力の個々の値について見ると、必ずしも計画(設計)通りの値は得られていない。刃口反力および周面摩擦力については、計測値の評価方法に伴う誤差も大きいが、設計値の基準となる数値についても、更に検討していく必要性が示唆された。

図－4.4.20実証施工実験沈下関係図よりケーソン躯体の圧入力は、

(刃口反力＋周面摩擦力＋浮力)－(自重)

から求めることができる。実証施工実験での最大圧入力は刃口深度GL-6.7mで1,020tとなる。



図－４．４．２０　実証施工実験沈下関係図

④　異常処理

異常時の処理は、あらかじめ設定してある警報項目に対し基準値を設定しその値を超えることによって警報を発令する方法となっている。しかし、油圧異常に対しては、警報と合わせて強制非常停止機能を付加した。これらの機能は、概ね良好に作動した。

⑤　圧入ジャッキの反応性

圧入ジャッキの反応性については、設定値に従って秒単位のかなり細かい載荷、除荷のサイクルを繰返しながら沈設が実施されてた。このことは、本システムのような自動沈下システムとすることによって可能となる制御方法といえる。マニュアル操作による圧力制御方式に比べて、実測データをリアルタイムでフィードバックしながら自動的に圧力コントロールできるので、非常に高精度の姿勢制御が可能となっている。

⑥ 計測機器の適切性

計測機器としては、実験工事という性格上、沈下計、傾斜計、刃口反力計、周面摩擦計、土圧計、油圧計など多くの計器が設置されており、配置、検知精度ともにほぼ適切であったことが確認された。実施工に際しては、管理上必要最小限度の計器に絞って設置することも可能である。

⑦ 操作性、整備性、安全性

自動沈下管理システムに関わる操作性、整備性、安全性については、概ね良好な結果が得られた。

⑧ 掘削・揚土システムとの同調性

掘削・揚土システムとの同調性については、自動沈下管理システムから自動掘削・揚土システムに対し無線モデムを用いたシリアルデータ通信によりデータを送信したが、トラブルは全く発生せず安定した性能を発揮した。したがって、今回の実証施工程度の限られた現場内でのデータのやり取りは、本無線方式で充分使用にたえることが確認できた。逆方向の自動水中掘削揚土システムから自動沈下管理システムへのデータ伝達は、掘削機運転画面のRGB を変換したTV信号の伝送のみを行った。

両システムは互いに独立したシステムであるがデータの共有化が可能となり、連携のとれたシステムが構築された。しかし、今後さらに、操作性の良い全体管理の容易なシステムに改良していくことが要求されよう。

（3）施工管理結果

1）出来形管理

実証施工実験を実施していくにあたり、施工管理基準を設けて工事監理を行った。表－4．4．10に施工管理基準一覧表を示す。

表－4．4．10　施工管理基準一覧表

	工　　程	管　理　項　目	基準値	測定方法	頻　　度
仮設工	土留鋼矢板工	・鋼矢板平面位置 (ケーソンからの離れ) ・掘削深さ ・土留安定	(設置位置) ±100mm ±100mm 異常がないこと	スケール スケール 目視観察	4方向 中央及び周辺 ――
	地盤改良工	・置換土配合 ・置換土強度	配合通り (30kgf/cm²) ±10kgf/cm²	計量 ボーリング供試体	1回／日 3ケ
	グラウンドアンカー工	・引張強度	設計荷重 (150tf)以上	確認試験	全数 (8本)
機械設備工	クレーン走行レール	・スパン ・左右レールの水準差 ・レールの勾配(水平曲り)	(設置位置) ±5mm 2cm 1/1000	スケール レベル レベル	設置時及び 各ロット沈設後
現場打ちケーソン工	刃口配置工	・刃口金物位置 ・ガイドレール位置	(設置位置) ±50mm (設置位置) ±5mm	スケール スケール	8方向 8方向
	躯体構築工	・ケーソン内径 ・ケーソン壁厚 ・ケーソン高さ ・最終ロットの天端不陸 ・コンクリート強度 ・PC接合部PC鋼棒位置	±50mm ±20mm ±100mm 10mm以内 所定強度以上 (設置位置) ±2mm (設置高さ) ±5mm (傾き) ±0	スケール スケール レベル レベル コ示による*) スケール レベル さげふり	各ロット毎 8方向 8箇所 8箇所 各ロット毎 各アンカーフレーム4点 各アンカーフレーム4点 各アンカーフレーム4点
	周辺地盤沈下	・鋼矢板天端高さ ・周辺地盤沈下	0～ -100mm 0～ -100mm	レベル レベル	各ロット沈設後 4方向
	沈下掘削工	・ケーソン傾斜	1/300以内	傾斜計	各ロット沈設後
PCケーソン工	PC部材設置工	・部材寸法	(ブロック厚さ) +5mm、-1mm (ブロック高さ) ±1mm (弧長) ±1mm (PC鋼棒孔ピッチ) ±1mm	スケール スケール スケール スケール	各ブロック2点 各ブロック2点 各ブロック2点 全数
	周辺地盤沈下	(現場打ちケーソン工と同様)			
	沈下掘削工	・ケーソン偏心量 ・ケーソンの回転 ・ケーソン沈設レベル ・掘削レベル ・ケーソン傾斜	100mm以内 3° ±100mm (設計レベル) 0～-100mm 1/300以内	トランシット トランシット レベル 検尺 傾斜計	最終 最終 最終　4方向 最終 中央及び周辺
底版・頂版工	底版コンクリート工	・コンクリート強度 ・コンクリート天端	所定強度以上 (設計レベル) 0～+100mm	コ示による*) 検尺	1回 中央及び周辺
	頂　版　工	・コンクリート強度	所定強度以上	コ示による*)	1回

注）*）土木学会　コンクリート標準示方書【平成3年度版】設計編による

2）工程管理

ケーソンの掘削沈下は、全体で当初予定よりも約0．3ヵ月程度短縮できた。躯体構築に関しては、現場打躯体が当初予定通りの工期で実施できたが、プレキャスト躯体については現場据付方式が当初の計画と変更になったために（アンカーフレーム工、基準リング工等）約 0．3ヵ月の工期増となった。最終的には全体で当初予定から1．5ヶ月の遅れで全作業を終了した。

4．5　止水壁に関する調査研究

ケーソン躯体は、沈設天端が水面下あるいは地表面下になることが多いため、水や土砂の流入を防ぐための仮設の止水壁が必要となる。止水壁には、土圧・水圧などの側圧だけでなく、圧入力などにも耐え得る強度を有することが要求される。自動化オープンケーソン工法（SOCS）では躯体構築をプレキャストブロックを用いて施工の合理化を図っているため、止水壁とブロック部材との接続や圧入後の止水壁の撤去が容易で、なおかつ施工の安全性が高い止水壁工法を検討する必要がある。

止水壁に関する調査研究では、ケーソン工事での止水壁施工における安全性、省力化などの向上を目的として、止水壁の構造ならびに接続・撤去方法の施工実績、指針や各示方書の現状などの調査研究を行い、自動化オープンケーソン工法（SOCS）に適した止水壁の構造について検討し、計画・設計・施工の参考になる技術資料をまとめた。

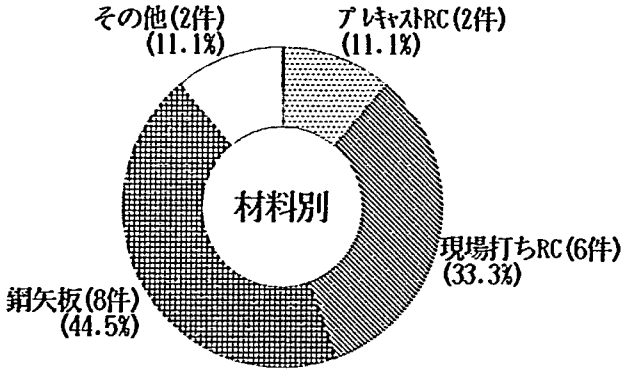
4．5．1　既往技術の調査

ケーソン止水壁の施工実態を把握するため、これまでに発表された止水壁の施工に関する文献調査、および施工事例に関するアンケート調査を行った。また、ケーソン止水壁に関する特許についても文献と同様に調査、整理を行った。また、各種指針類についても調査した。

（1）文献調査

ケーソン工事に用いられている止水壁の設計、施工に関連する文献を、既往の文献、資料等から抽出した。文献調査は専門誌を中心に、官公出版物、一般刊行誌について行った。今回の調査では、特にプレキャスト部材を用いた事例の収集に着目したが、該当する文献は少なかった。

図－4．5．1に、抽出した文献を止水壁に用いた材料別に集計した結果を示す。



図－4．5．1　文献調査結果の集計

抽出した文献のそれぞれについて、材質、本体との接続方法、撤去方法について、各文献の内容に関して参考となる度合い（参考度）のランク付けを行い、さらに、各文献の書誌的な項目、止水壁の規模、施工条件および概要図などを文献毎に調査した。

（2）アンケート調査

1）調査の目的と方法

ケーソン工事に用いられている止水壁の構造および撤去方法などの施工実態を把握し、施工の省力化および安全性向上を目指した新しい止水壁の構造を検討する上での参考資料を収集するためアンケート調査を行った。

近年、建設工事の効率化、特にプレキャスト化への要請が高まっている。本研究においても、止水壁の効率的な施工方法の研究・開発を目的にしており、施工事例の中でも特にプレキャスト部材を用いた事例に着目して調査・分析を行った。

また、ケーソンで用いられる止水壁は仮設構造物であり、ケーソン沈設完了後は撤去しなければならない。したがって、ケーソン本体との接続構造も含めて止水壁の設置、撤去方法およびその期間などについても分析を行った。

調査は、建設会社（３２社）を対象に、調査票を配布し、関連する施工実績のアンケート調査を行った。

① 調査対象と時期

a．調査対象

オープンケーソンまたはニューマチックケーソン工事における止水壁

（仮締切は対象外）

b．調査時期

平成５年８月～９月

② 調査項目

a．工事概要（工事名、工事場所、工期、発注者）

b．構造概要（一般構造図、接続部（ケーソン本体と止水壁）詳細図、その他詳細図、材質等）

c．設置、撤去方法

d．止水壁の構造および撤去工法の選定理由

e．設置、撤去の工程

f．工業所有権の有無

g．設計計算書・施工計画書

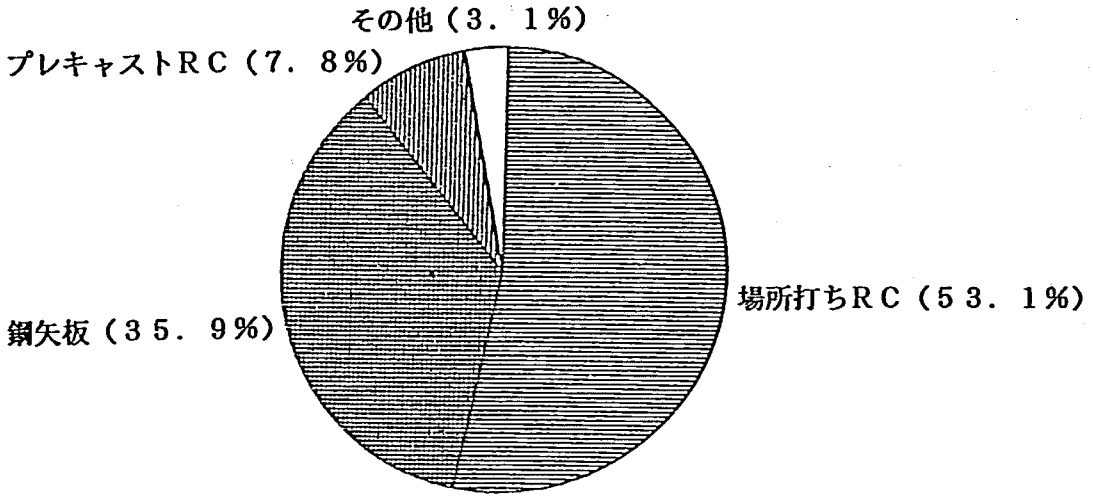
2）調査結果の集計

調査の結果、有効回答が６４件得られた。主な調査項目に関する整理結果を以下に記す。

① 使用材料による分類【データ数：６４件】

現在、止水壁に適用されている材質としては、コンクリート（現場打ち、プレキャスト）、鋼矢板、鋼殻などがある。ここでは、プレキャストＲＣ、現場打ちＲＣ、鋼矢板およびその他の４種類に分類してまとめた。

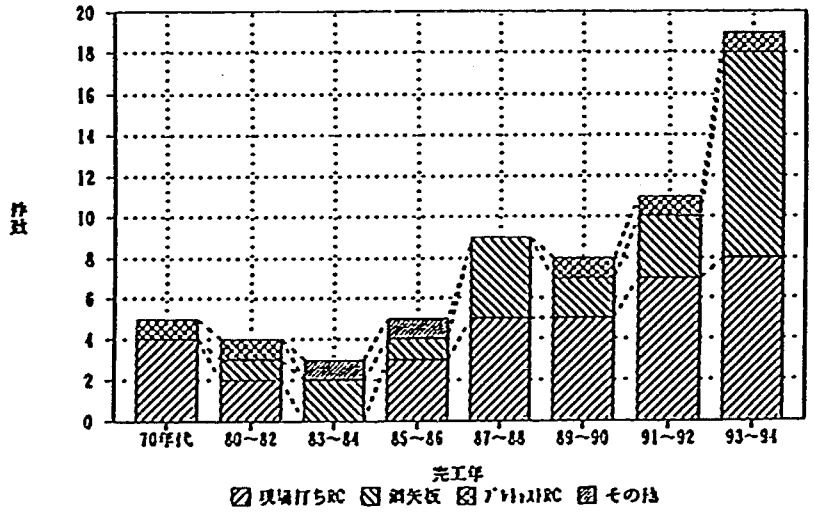
その結果、現場打ちＲＣが３４件（５３％）、鋼矢板が２３件（３６％）、プレキャストＲＣは５件（８％）であった。



図－４．５．２　止水壁の使用材料（データ数：６４件）

② 工事完了年による分類【データ数：６４件】

回答を得た６４件の内、９０年代に完工されたものは約半数（３３件）で、使用材料は現場打ちＲＣが１７件（５２％）、鋼矢板が１３件（３９％）、プレキャストＲＣが１件であり、上記の使用材料による分類は、ほぼ最近の傾向を表しているといえる。



図－４．５．３　工事完了年別のデータ件数（データ数：６４件）

③ 止水壁の高さ

a．止水壁の高さと使用材料の関係【データ数：６２件】

止水壁高さの平均は現場打ちＲＣと鋼矢板が同等で、プレキャストＲＣが最も大きくなった。現場打ちＲＣは比較的低い止水壁に、プレキャストは１０m前後の高い止水壁に使用されている。現場打ちＲＣと鋼矢板はバラツキが大きい。

b．止水壁の高さと形状寸法比（L/B）の関係【データ数：６２件】

バラツキが大きく相関性は小さい。

④ ケーソンの掘削断面積と使用材料【データ数：６４件】

ケーソン内の掘削面積の平均は鋼矢板と現場打ちＲＣがほぼ同等で、プレキャストＲＣが最も小さい。

現場打ちＲＣは、１５０m^2以下の使用実績が多く、鋼矢板は５０～２００m^2の範囲でばらついている。プレキャストＲＣは１００m^2以下の掘削面積で使用されている。

以上の結果から、現場打ちＲＣは止水壁高さは低いが、ケーソン掘削面積の大きい場合に、逆にプレキャストＲＣは掘削面積は小さいが高さの高い場合に使用されている傾向があるようである。プレキャストＲＣは現場打ちＲＣと比較して、設置コストが高いが、撤去時の施工性が高いことが主な理由と考えられる。

⑤ 止水壁の支保工

a．支保工の有無と止水壁高さの関係【データ数：６３件】

止水壁の高さが５m程度までは支保工無しが多く、それ以上になると支保工が設置される件数が多くなっている。また、５m以上で支保工を用いない施工事例は、その形状が円形かあるいは小判形であった。

b．支保工の有無と止水壁形状の関係【データ数：６３件】

円形では、支保工無しが多く、小判形、矩形では支保工が設置される件数が多い。

⑥ 止水壁の撤去方法【データ数：７２件（複数回答有り）】

撤去方法の約半数が分割引上げで、以下油圧ブレーカ、一括引上げ、発破の順であった。

a．撤去方法と周辺環境の関係【データ数：７２件（複数回答有り）】

b．撤去方法と止水壁高さの関係【データ数：７２件（複数回答有り）】

止水壁高さと撤去方法には関連がみられない。

c．撤去方法と使用材料の関係【データ数：７２件（複数回答有り）】

現場打ちＲＣは油圧ブレーカーによる破砕方法が最も多く、発破による方法も含め、小割にして撤去する方法が多用されていた。

鋼矢板は全て分割引上げで撤去されており、プレキャストＲＣも殆どが分割引上げで撤去されていた。これは、両者とも水平継手を有しており、継手を解体して撤去する方法をとったものと考えられる。

⑦ 止水壁の設置日数

a．使用材料によるによる分類【データ数：５９件】

鋼矢板、プレキャストＲＣが、現場打ＲＣより設置日数が短いようである。

b．設置日数と止水壁高さの関係

鋼矢板、現場打ちＲＣでは、止水壁高さと比較的高い相関が見られた。

c．設置日数と止水壁の壁面積の関係

鋼矢板では、止水壁の壁面積と高い相関がみられた。

止水壁の壁面積が ３００m²では、現場打ちＲＣが３２日、鋼矢板が１８日、プレキャストＲＣが２０日程度（実績より）となり、現場打ちはプレキャストの約１．６倍となった。

d．設置日数とＲＣ止水壁体積（コンクリート体積）の関係【データ数：３７件】

コンクリート体積と設置日数には高い相関がみられた。

⑧ 止水壁の撤去日数

a．撤去日数と止水壁高さの関係

鋼矢板では撤去日数と止水壁高さに比較的高い相関が見られた。

b．撤去日数と止水壁の壁面積の関係

現場打ちＲＣでは壁面積と撤去日数に比例関係の傾向がある。鋼矢板は壁面積との関連は少なく、殆ど１０日以内で撤去している。これは、一日当たりに撤去量が多く、日数に大きな差が生じなかったものと考えられる。

c．撤去日数とＲＣ止水壁規模（コンクリート容積）の関係【データ数：３５件】

ほとんど相関が見られなかった。

3）まとめ

今回の調査では、比較的新しい施工データが多く得られ、現場打ちＲＣと鋼矢板のデータは比較的多く得られたが、プレキャストＲＣの施工データは数件しか得られなかった。これは、プレキャストＲＣは強度、施工性等において優れてはいるが、仮設構造物としては高価であり、転用不可能な場合には経済的に不利となる問題があることなどが原因ではないかと考えられる。

使用材料別に主な調査結果をまとめると、以下の通りである。

・現場打ちＲＣは、止水壁高さ、掘削断面積ともに広い範囲で用いられており、止水壁の高さは低いが、ケーソンの断面積が大きい場合に多用されていた。

・プレキャストＲＣは止水壁の高さは高いが、ケーソンの断面積が小さい場合に用いられており、高さは１０m前後に集中する傾向がみられた。

・鋼矢板は現場打ちＲＣとほぼ同条件で用いられており、近年、採用実績が増加する傾向がみられた。

・設置、撤去日数などの項目について、止水壁の高さや、コンクリートボリューム、あるいは壁面積等との関連についてデータ整理を行った結果、高い相関性がみられる分析結果が得られた。

また、止水壁の施工において、鋼矢板を含めたプレキャスト部材の使用が省力化、効率化、さらには

安全性の向上につながることが本調査結果からも読みとることができる。しかし、プレキャストＲＣについては、経済性、汎用性等問題点も多く、今後、これらの課題の抽出、問題点の明確化、およびその対応策などの検討が必要と考える。

（3）設計指針調査

各企業体の設計指針類について調査した結果、ケーソン止水壁に関する規定のあるものは次の３点である。

① 道路橋示方書・同解説 Ⅳ下部構造編　　平成　６年　２月　日本道路協会

② 設計要領 第二集　　平成　２年　７月　日本道路公団

③ ケーソン工法の調査設計から施工まで　　昭和６０年１１月　地盤工学会

この中の主な項目について整理すると次のようになる。

・「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」では、基本的に本体壁の設計法に準じて施工時の壁の検討を行うよう規定している。また、５種類の材料について特性比較表を記載し、各材料ごとの適用範囲、特徴等について示している。

・「設計要領」では、各種止水壁構造についての解説を加えた上で、荷重の考え方等は基本的に「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」によるものとしている。

・「ケーソン工法の調査設計から施工まで」では、円形ケーソンの止水壁についての設計例と、２種類の材料についての施工例を記している。

4．5．2　自動化オープンケーソン工法における止水壁工法の提案

従来の止水壁材料としては、無筋コンクリート、鉄筋コンクリート、鋼矢板、鋼製パネルおよびプレキャストコンクリートブロックなどが使用されており、採用にあたっては各止水材料の特性や設計・施工条件等を考慮して決定されている。

止水壁は、自動化オープンケーソン工法の特徴（プレキャスト化・自動化・省力化）を十分に生かすことができる材料や施工法でなければならない。そこで、止水壁材料は施工性、汎用性および経済性に優れたもので、現在入手が容易な既製品もしくは多少の改良を図り利用できる既製品を対象とする。

（1）自動化オープンケーソン工法における止水壁必要機能の抽出

止水壁工法の提案に先立ち、止水壁の必要機能を抽出し機能毎に分類する。

- ① 地中に荷重を伝える
  - 圧入力に耐える
  - 引張力に耐える
  - 衝撃力に耐える
- ② 構築空間を造る
  - 水を止める
  - 水圧に耐える
    - 切梁をなくす
  - 土圧に耐える
    - 切梁をなくす
- ③ 河積を確保する
  - 完全撤去する
  - 水中で撤去する
- ④ 転用する
  - 撤去作業を容易にする
  - 部材長を運搬しやすい長さにする
  - 耐久性が必要
  - 汎用性がある
  - 経済的である
  - 支保工材を少なくする

（2）適応材料の選定

自動化オープンケーソン工法における止水壁材料は、前項の必要機能を有するとともに以下の仮定条件を満足するものを選定しなければならない。

仮定条件：ケーソン外径　　ϕ＝　１０ｍ

止水壁高　　Ｈ＝ ５～６ｍ（Max＝７ｍ）

止水壁厚　　必要に応じて決定する

そこで、まず従来の止水壁工法で使用されている材料の適否を検討したが、

- 場所打ち無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリートは、重量が大きく転用が難しい（無筋コンクリートは耐久性が劣る）。
- U型鋼矢板は、施工性および汎用性に優れているが剛性が小さく止水性に多少の難点がある。
- 鋼製パネルとプレキャストコンクリートパネルは、撤去が容易で転用性に優れているが、重量が大きくまた他形状への転用が難しい。

といった問題があり、いずれも自動化オープンケーソン工法に対する適用条件を満足しない。ただし、鋼矢板の内、組合せ鋼矢板は剛性が高いので適用可能と判断される。

以上をふまえ、新たに止水壁に適用可能な材料を「極力、既製品もしくは多少の改良を図り利用できる既製品」といった観点から選定してみると、以下の４種類の材料が抽出された。

・鋼管矢板－－－－－－－－－－－－剛性が大きく設置撤去が容易である

・特殊鋼矢板（Kドメール）－－剛性が大きく円形設置が可能である

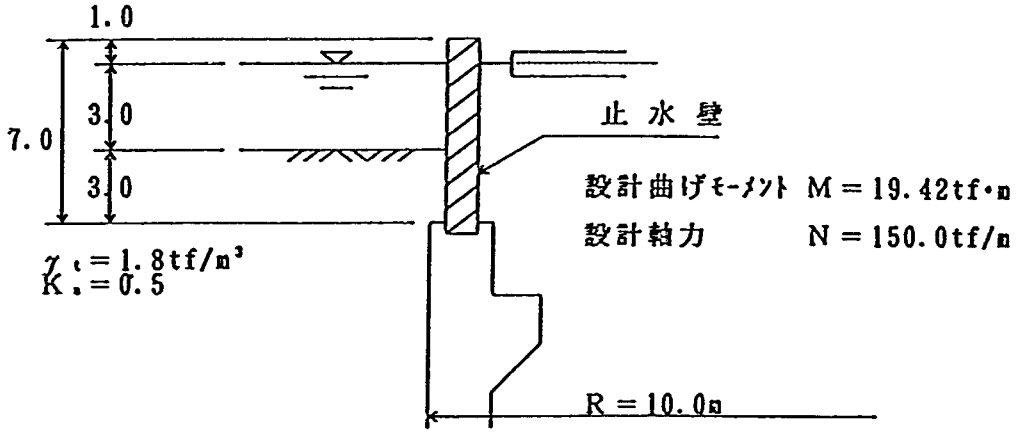
・角型鋼管－－－－－－－－－－－－同上　ただし、継手設備の設置が必要

・ＰＣ壁体－－－－－－－－－－－－　　－〃－

したがって、自動化オープンケーソン工法における止水壁材料としては、組合せ鋼矢板を含めた５種類を選定した。

（３）止水壁部材の規格仮定

止水壁部材は以下の条件を基に仮定する。



仮定断面

部材名	規格寸法	断面性能		応力度(kgf/cm²)			
		A(cm²/m)	Z(cm³/m)	σ_c	σ_b	$\Sigma\sigma$	σ_a
組合せ鋼矢板	FSPⅢ＋FSPⅢ	382.0	3,300	393	589	982	2,700
鋼管矢板	SKY400 φ500-9t パイプT型 @680	289.6	2,460	518	790	1,308	2,100
Kドメール	300SL CT-294X400	350.0	3,600	429	540	969	2,700
角型鋼管	STKC41P □500-12t @600	(230.5) 384.0	(3,630) 6,050	391	321	712	1,970
ＰＣ壁体	□500-C種@600	(1,448.0) 2,413.0	(18,090) 30,150	σ_{ce} +62	64	+216 or +26	+250 or -40

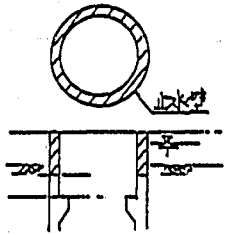
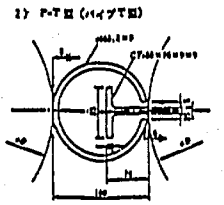
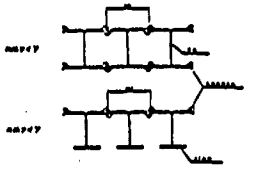
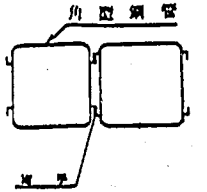
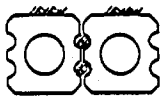
（4）止水壁工法の比較検討

比較検討表を表－４．５．１に示す。なお、在来工法とも対比する必要があると考えられるので「現場打ち鉄筋コンクリート止水壁一括撤去工法」を比較対象とした。

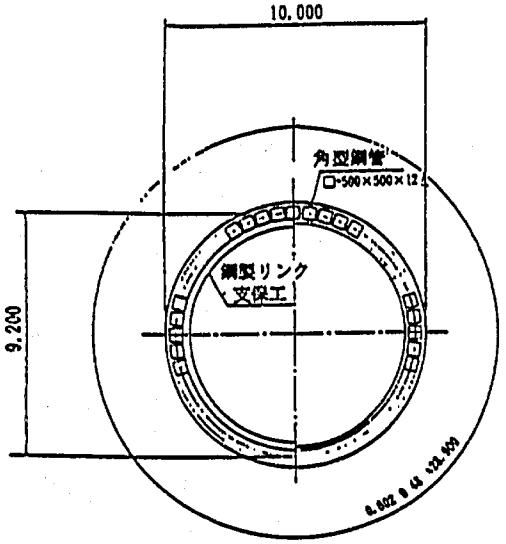
（5）自動化オープンケーソン工法における止水壁工法の提案

比較検討の結果、ＳＯＣＳ工法における止水壁工法としては「鉛直継手を装備した角型鋼管止水壁工法」を提案する。概要図を図－４．５．４に示す。

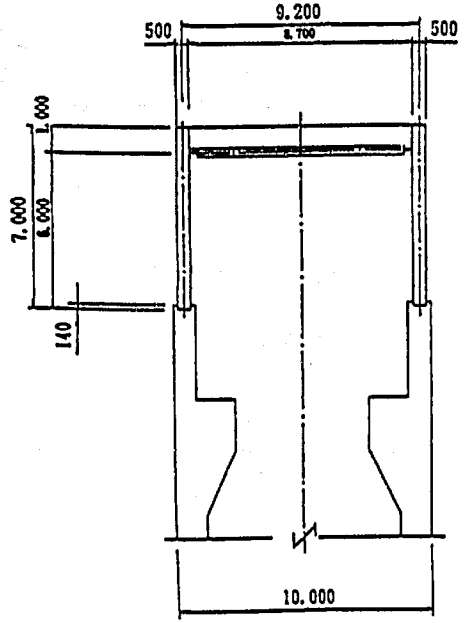
表－４．５．１　止水壁工法比較検討表

比較検討項目		現場打ちＲＣ	組合せ鋼矢板	鋼管矢板	Ｋドメール	角型鋼管	ＰＣ壁体
形状寸法	概略形状						
	形式	外径10.0m、内径9.2m	FSPⅢ＋FSPⅢ	φ500－9t@680	300ＳＬ　CT294×300	□500-12t@600	□500-C種@600
	必要数	コンクリート体積Ｖ＝84.5m3	７４枚　(R=9.4m)	４３本　(R=9.2m)	５９枚　(R=9.4m)	４８本　(R=9.2m)	４８本　(R=9.2m)
	１枚当り重量	－－－	0.84t/枚　(L=7.0m)	1.08t/本　(L=7.0m)	0.96t/枚　(L=7.0m)	1.63t/本　(L=7.0m)	2.66t/本　(L=7.0m)
	全体重量	210.0t	62.14t	46.44t	56.64t	73.82t	127.68t
地中に荷重を伝える	圧入力	特に問題ない ◎	圧入力により使用部材を選択できる ○	特に問題ない ◎	場合により、支圧術受部の補強が必要 △	特に問題なし ◎	同左 ◎
	引抜り力	アンカー鋼棒にて耐荷する	アンカー鋼棒またはＰＣ鋼棒にて耐荷する	同左	同左	同左	同左
	衝撃力	特に問題ない ◎	特に問題ない ○	特に問題ない ◎	特に問題ない ○	特に問題ない ◎	特に問題ない ◎
作業空間を作る	水を止める	特に問題ない ◎	止水性に問題あり △	ジョイント止水材により止水は可能 ○	止水性に問題あり △	ジョイント止水材により止水は可能 ○	同左 ○
	水圧に耐える	特に問題ない ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎
	土圧に耐える	特に問題ない ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎
	支保工段数	必要としない	1段	1段	1段	1段	1段
河積を確保する	完全撤去	一部引上げ設備不可欠 ◎	特に問題ない ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎
	水中で撤去	不可能である ×	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎
転用する	耐久性	転用できない ×	セクション部が傷みやすい ○	ジャンクション部の破損が予想される △	変形しやすい △	剛性が高く破損程度は低い ◎	取扱に注意が必要 △
	汎用性		径の変更に対応可能 ◎	ＣＴジャンクション形状が良い ○	径の変更に対応可能 ◎	同左 ◎	大重量のため運搬・取扱に苦労 △
	経済性 ＊場所打ちRCを基準	1回使用 1.0	1回使用 1.12	1回使用 0.97	1回使用 0.93	1回使用 1.05	1回使用 2.24
			2回使用 0.73	2回使用 0.63	2回使用 0.61	2回使用 0.72	2回使用 1.43
本体との接続方法		アンカーボルト接合	溝内建て込み、アンカーボルト接続またはＰＣ鋼棒緊結	同左	同左	同左	同左
リング支保工との取合い		間詰めコンクリートは不要 ◎	間詰めコンクリートは必要 △	同左	間詰めコンクリートは不要 ◎	同左 ◎	同左 ◎
止水対策		特に必要としない ◎	脚部型止水材の塗布 △	ジョイント止水材で対応 ○	組合せ鋼矢板と同様 △	ジョイント止水材で対応 ○	同左 ○
撤去作業性		撤去設備が大掛かりとなる △	接続材撤去後、クレーンにて単部材毎に撤去する ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎ 但し、大型クレーンが必要 ○
工期	設置工	26日	11日	10日	5日	7日	10日
	撤去工	14日	4日	4日	4日	4日	4日
		計40日	計15日	計14日	計9日	計11日	計14日
総合評価		機能的には問題がなく安全性の高い工法である。しかし、経済性・工期面では、他の工法より劣る。また、転用することができない	Ｕ型鋼矢板の実績は多く、圧入時に別途の反力材を必要としたが、組合せにより高剛性化が図れ直圧入が可能である。しかし、止水性に多少問題があるため透水性の高い場所での採用は不向きである。	鋼管矢板非筒工法や中間壁などでの実績が多く信頼性は高い。荷重により、部材選定は容易である。取扱性およびジャンクション部の耐久性に問題がある。また、止水壁全体の安定上、間詰めコンクリートが必要	経済性および工期的には比較工法の中で最も優れている。しかし、組合せ鋼矢板と同様に止水性に難点がある。なお、形状がＴ字型のため、建て込み時に注意が必要である。	比較項目を総合的に判断すると最も優れた材料である。また、荷重により、部材選定は容易である。しかしながら、施工実績がないので採用に際してはジョイント部の形状および止水対策に留意しなければならない。	単位重量が大きく汎用性に問題がある。また材質がコンクリートであるため、慎重な取扱が必要である。

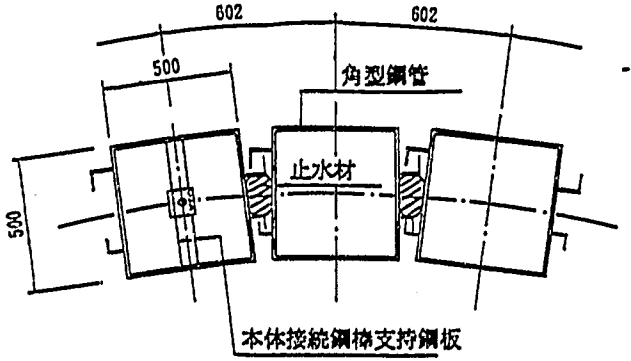
平面図



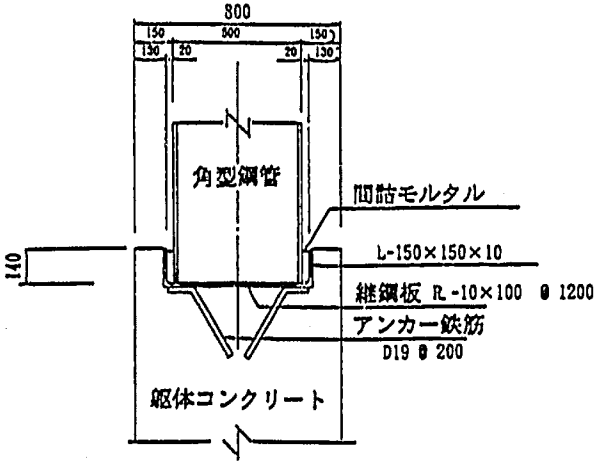
側面図



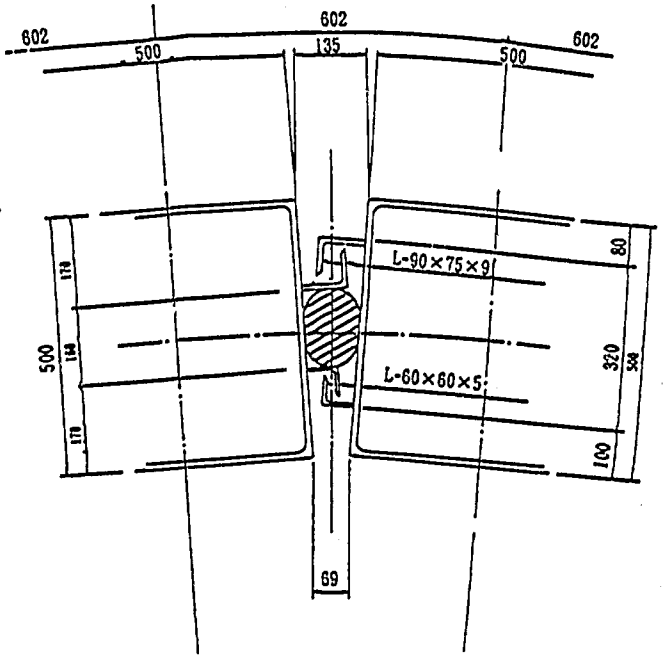
取付詳細図



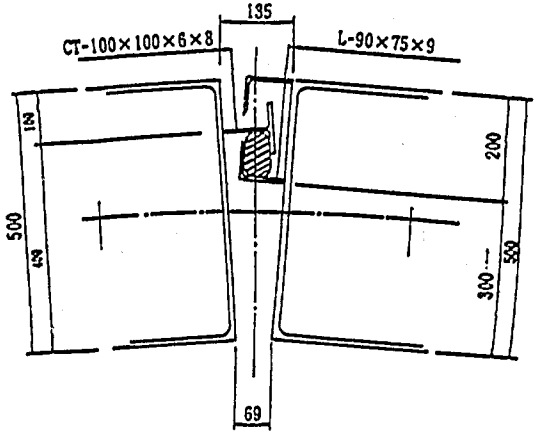
本体取付部詳細



ジョイント部詳細図



CTジョイント案



図－４．５．４　止水盤概念図

4．6　まとめと今後の課題

本研究ではオープンケーソン工法に着目し、現場作業の省力化、工期短縮を可能にし、かつ、高い施工精度を確保するためのプレキャスト化・自動化技術の開発を行った。以下に本工法に関する研究開発の成果と今後の課題について述べる。

オープンケーソン工法に関する研究では、現場作業の減少、工期の短縮や高品質化などを目的として躯体にプレキャスト部材を用いた「プレキャスト躯体システム」、施工の高度化や効率化、省人化を目的として掘削・揚土を連動して自動で行う「自動掘削・揚土システム」、そして各種センサーの情報を基にケーソンの圧入沈下・姿勢制御を自動で行う「自動沈下管理システム」の３つのシステムからなる「自動化オープンケーソン工法（SOCS）」の開発を行った。

プレキャスト躯体システムの開発では、躯体のブロック化による剛性および耐力の低下の影響を検討するため、継手に対する要素試験や３次元ＦＥＭ解析を行ったが、今回採用した継手構造を用いることにより、従来のケーソン躯体と同等の性能が得られ、既存の設計基準が適用可能であることを確認した。また、プレキャスト部材の構築に関しても、実大試験を通じてブロック同士の接合面に隙間や段差が生じないよう精度よく設置することが可能であることを確認した。本工法により、これまで例のなかった大口径基礎のプレキャスト化が可能となり、急速施工を必要とする現場では有力な手段の一つとなることと予想される。

自動掘削・揚土システムおよび自動沈下管理システムについては、実大ケーソンによる実証施工実験によりシステムの性能、能率およびシステム同士の連携性を確認したが、所定の性能を満足することがわかり、また、実施工に反映することとなる施工管理データ等を収集することができた。自動掘削・揚土システムの適用により、掘削・揚土作業が完全に自動化され、さらに従来掘削が困難であった硬質地盤に対しても気中・水中を問わず掘削が可能となった。また、自動沈下管理システムによって、従来人間のオペレーションを必要とした圧入作業も完全に自動化され、省人化が可能となった。

止水壁に関する調査研究では、調査結果などを参考にして、止水壁工の計画・設計・施工にあたっての有用な技術資料をとりまとめるとともに、自動化オープンケーソン工法に適した止水壁工法を提案することができた。

従来、オープンケーソンの沈設は、現場において状況を観測、計測しながらその都度対応することが一般的であり、今回開発したシステムのように実測データをリアルタイムにフィードバックして自動制御を行う方式は、ほとんど例がない。ことに、本工法のように掘削、揚土、沈設の各システムを一元化した形で実施した例はなく、画期的、かつ、汎用性の高いシステムが構築されたといえる。本工法の適用により、従来よりも大深度のケーソンであっても高精度で沈設することが可能となる。

今後の課題としては、工期短縮を目的としたプレキャスト部材の最適な構築手順の検討、自動掘削・揚土システムの機械組立解体およびメンテナンス作業の簡易化、ケーソン沈下抵抗力の推定精度の向上などが挙げられる。また、実工事への適用を実現化するためにとりまとめた設計、施工および積算マニュアルの改善を行っていくことが必要である。特に、積算マニュアル(案)については、「建設省土木工

事積算基準」を基本として編集しているものの、同基準の範囲では網羅できない部分も多く含まれていることから、今後の実施工における蓄積データを基にした修正が必要である。

今後、実工事へ向けてさらなるシステムの向上に努めるとともに経済性の追求を行い、本工法が橋梁基礎等における自動化・合理化工法の確固たる一工法となるよう目指していきたい。

資料－Ⅰ

自動化オープンケーソン工法
プレキャスト躯体システム

継手要素実験報告書

1．継手要素実験概要

1．1　開発経緯

建設省、先端建設技術センター、および民間会社は、共同研究（総合技術開発プロジェクト：建設事業における施工新技術の開発）としてオープンケーソンの新しい施工技術の開発を進めている。この工法はオープンケーソンの躯体構築から掘削・圧入作業に、それぞれプレハブ化、自動掘削・制御技術を導入することにより、工期短縮、作業人員の削減を図るとともに大深度まで高精度で施工できる技術である。

本報告はこの工法開発の一環として、躯体構築においてプレキャスト部材を活用した施工技術の開発を行うため実施した継手構造に関する要素実験についてとりまとめたものである。

大口径基礎の躯体プレハブ化にあたっての課題は、その製作方法とプレキャスト部材の継手方法の開発に集約されるが、構造系の要としての効果的な継手の開発は特に重要なテーマとして位置付けられた所である。

平成２年度より開始されたこれら開発過程にあって、一年間にわたる各種継手方法に関する机上検討結果より絞り込まれた２種類の接合継手「コンクリート接合継手」および「くさび接合継手」の力学特性の比較を行い、最適な継手選定のための基礎資料を得ることを意図して実施されたものである。

本報告書は、平成３年度から平成４年度にかけて実施した継手開発の要素実験の結果をまとめ、ここにその概要を報告するものである。

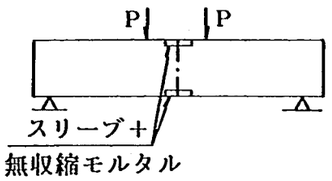
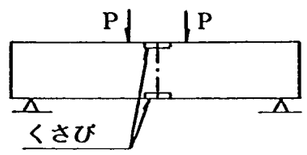
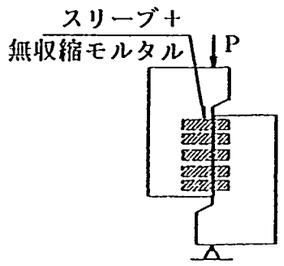
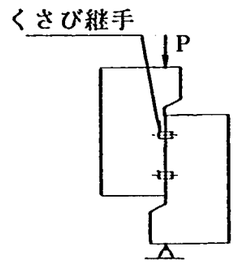
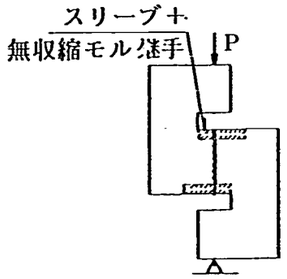
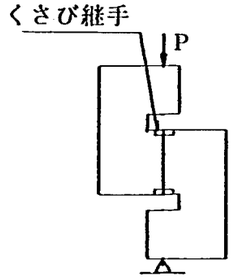
1．2　実験概要

プレキャスト部材の継手特性を把握するため、平成３年度にコンクリート接合継手およびくさび接合継手の継手要素実験を実施したが、その結果くさび接合継手のせん断特性に課題が残されたため引き続き平成４年度に主としてくさび接合継手のせん断強度向上を目的とした追加要素試験が実施された。

継手特性として着目したものは、①曲げモーメントに対する特性、②面内せん断力に対する特性、③面外せん断力に対する特性の３種類であるが、基本的には継手のない断面との等価性確認のため、継手２種類および継手を有しない供試体の３種類について構造実験を行ったものである。

これら一連の実験フローならびに実験ケースを図－１．２．１に示す。

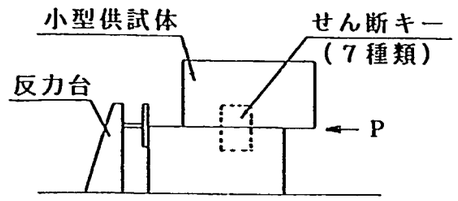
平成３年度の実験（大型継手構造実験）

	コンクリート接合継手	くさび接合継手
曲げ試験		
面内せん断試験		
面外せん断試験		 ・耐力剛性に課題 ・H型金物のゆるみ防止が必要
記事	特に課題なし	面外せん断に課題

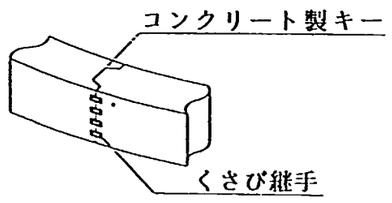
（くさび接合継手の改良）
面外せん断強度の向上

平成４年度の実験

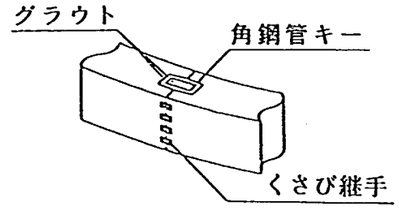
1．小型せん断キー試験：せん断キーの設置による面外せん断補強の検討



鋼製平板キー	３供試体
コンクリート製キー	２供試体
角鋼管キー	２供試体
計	７供試体

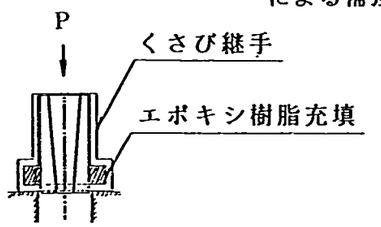


・耐力，剛性とも優れている
・構築性に劣る

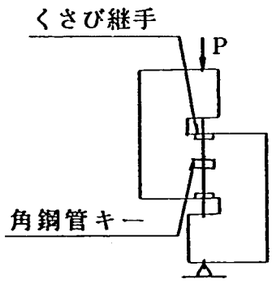


・耐力，剛性とも優れている
・構築性に優れている

2．くさび継手内充填効果確認試験：くさびのゆるみ防止による補強

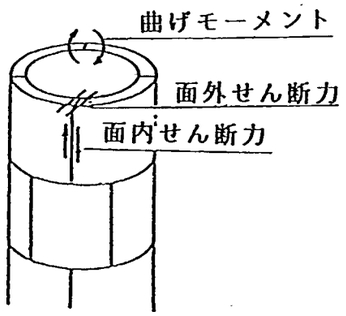


3．面外せん断試験（大型供試体）：最終的な検証

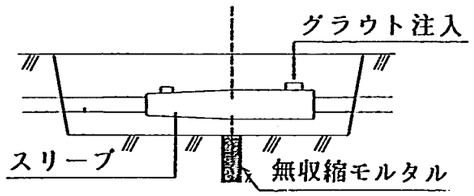


・くさび継手内にエポキシ樹脂を充填
・くさび継手の歯形突起を削り取る
（構築性が悪くなるため）
・供試体　２体
接着材あり、なし各１体

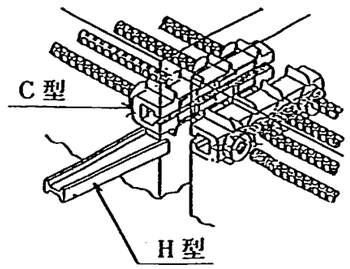
各継手の発生断面力



コンクリートの接合継手 スリーブの構造



くさび接合継手 くさび継手の構造



図－１．２．１　躯体接合継手の実験フロー

2．大型継手構造実験（平成３年度）

2．1　実験概要

2．1．1　実験目的

ＳＯＣＳの躯体を構成する単体ブロックは、口径が大きいため施工性を考慮して、継手により連結される構造となる。

本実験は、平成２年度より実施して来た机上での継手方法の抽出絞り込みの結果をもとに、いくつかの継手方法を選択し、継手の耐力・剛性などの継手特性の把握を行い、最適な継手選定のための基礎資料を得ることを目的とする。

そのため、本実験においては特に以下の項目について確認することとした。

① 継手なし供試体と各継手の耐力、剛性の比較

② 各継手の破壊に至る直接の破壊モードの把握

③ 継手の耐荷機構を把握するための各構成部材の載荷による挙動変化

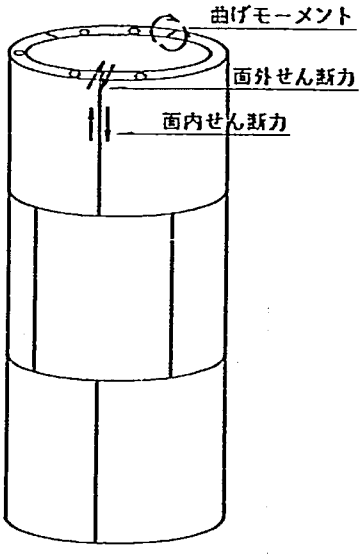
2．1．2　実験ケース

図－２．１．１に示すように、接合部継手には水平方向に曲げモーメントおよび面外せん断力、鉛直方向に面内せん断力が発生することが想定される。

本実験では、平成３年度に絞り込まれた継手方法「くさび接合継手」，「コンクリート接合継手」の２種類について、それぞれ「静的継手曲げ試験」，「静的面内せん断試験」および「静的面外せん断試験」の３試験を実施し、これらの継手部材の基本的な耐力および剛性などの把握を行った。

また、それらの比較のため、継手のない供試体についても実験し、確認した。

実験の組合わせ、ケースは表－２．１．１のとおりである。また表－２．１．２～２．１．４には、３種類の試験概要を示した。

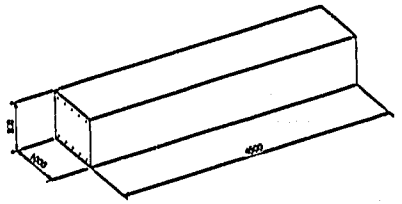
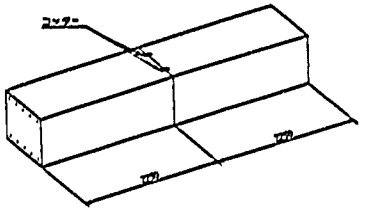
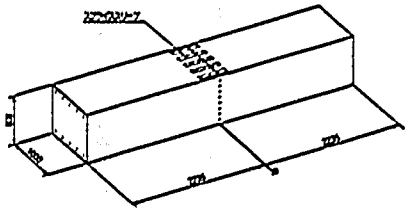


図－２．１．１
各継手部の想定発生断面力

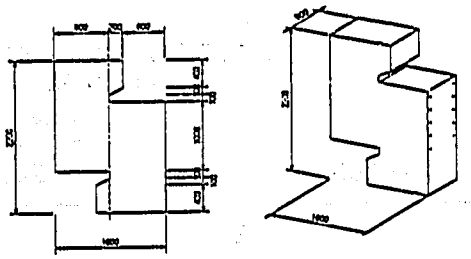
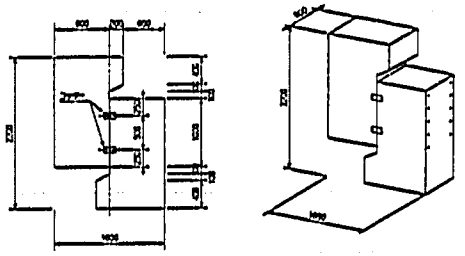
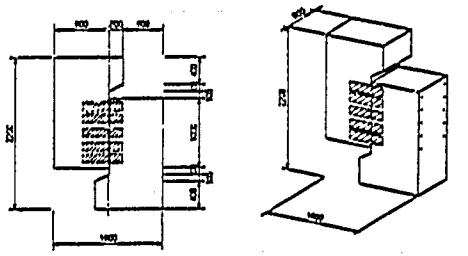
表－２．１．１　実験ケース

試験名　　継手	継手なし	くさび接合継手	ｺﾝｸﾘｰﾄ接合継手
継手曲げ試験	ＮＢ－１	ＣＢ－４	ＣＢ－７
面内せん断試験	ＮＳ－３	ＣＳ－６	ＣＳ－９
面外せん断試験	ＮＳ－２	ＣＳ－５	ＣＳ－８

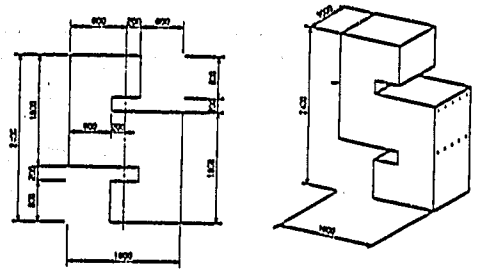
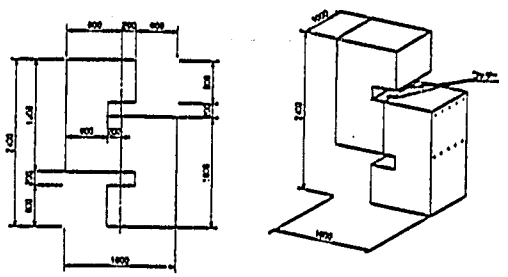
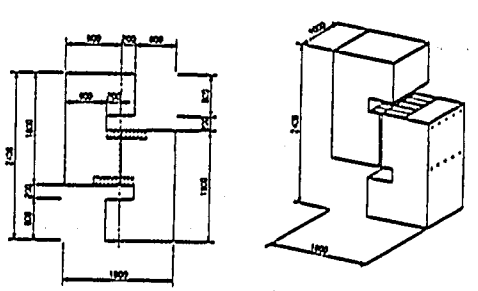
表－２．１．２　静的曲げ試験概要

		継手なし供試体	くさび接合継手供試体	コンクリート接合継手供試体
供試体概要図				
	共通諸元	・載荷断面寸法　B×H=100 cm×80 cm ・ｺﾝｸﾘｰﾄ強度　σc=400 kgf/cm² ・主筋（圧縮）　D19×5(SD30) ・　（引張）　D19×5(SD30)	同　左	同　左
	個別諸元		・ｺｯｸｰ継手　4ヶ所(引張2ヶ所，圧縮2ヶ所)	・ｽﾘｰﾌﾟ継手　10ヶ所(引張5ヶ所，圧縮5ヶ所) ・無収縮ﾓﾙﾀﾙ
事前計算値	許容荷重	2×Pa= 19.2 t (Ma= 15.30 t·m)		
	終局荷重	2×Pu= 41.4 t (Mu= 33.14 t·m)		
載荷ステップ		2 t	2 t	2 t
計測項目	共通	・荷重　・ｺﾝｸﾘｰﾄ強度（円柱供試体） ・供試体変位　・鉄筋強度 ・主鉄筋歪 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ歪 ・ひび割れ状況	同　左	同　左
	個別		・ｺｯｸｰ継手ｱﾝｶｰ筋歪 ・ｱﾝｶｰ筋強度 ・ｺｯｸｰ継手変形状況 ・ｺｯｸｰ歪 ・目開き量	・ｽﾘｰﾌﾟ歪 ・目開き量

表－2．1．3　静的面内せん断試験概要

		継手なし供試体	くさび接合継手供試体	コンクリート接合継手供試体
供試体概要図				
	共通諸元	・載荷断面寸法　B×H=80 cm×100 cm ・コンクリート強度　σ_c=400 kgf/cm² ・主　筋　D19×10(SD30)	同　左	同　左
	個別諸元		・コッター継手　4ヶ所	・スリーブ継手　10ヶ所 ・無収縮モルタル
事前計算値	許容荷重	Pa= 39.6 t （Sa= 39.6 t　道示）		
	終局荷重	Pu= 76.3 t （Su= 76.3 t　ACI略算）		
載荷ステップ		2 t	2 t	2 t
計測項目	共通	・荷重　・鉄筋強度 ・供試体変位 ・主鉄筋歪 ・ひび割れ状況 ・コンクリート強度（円柱供試体）	同　左	同　左
	個別		・コッター継手アンカー筋歪 ・アンカー筋強度 ・コッター継手変形状況 ・コッター歪	・スリーブ歪

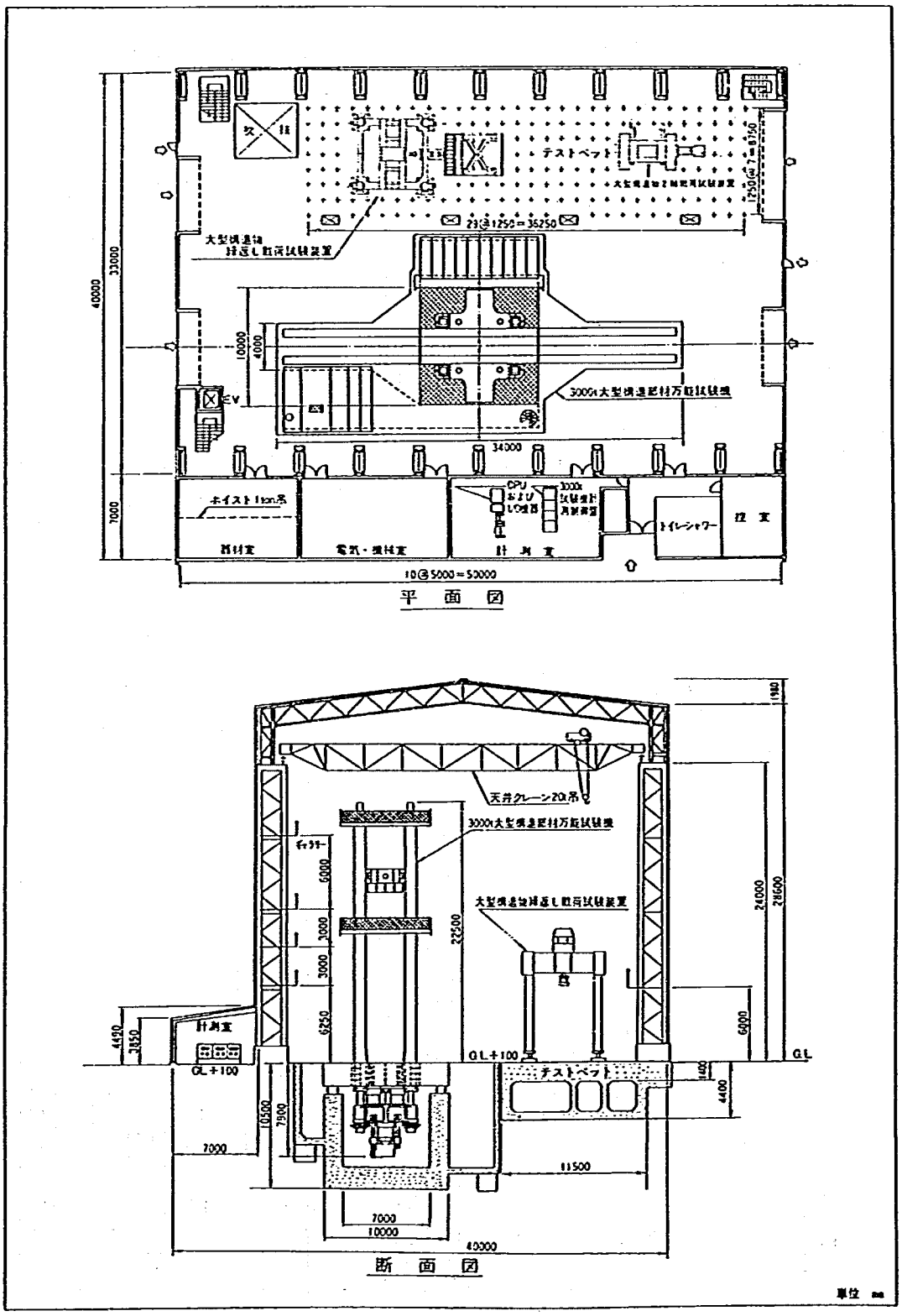
表－２．１．４　静的面外せん断試験概要

		継手なし供試体	くさび接合継手供試体	コンクリート接合継手供試体
供試体概要図				
	共通諸元	・載荷断面寸法　B×H=100 cm×80 cm ・ｺﾝｸﾘｰﾄ強度　σ_c=400 kgf/cm² ・主筋（圧縮）　D19×5(SD30) ・　（引張）　D19×5(SD30)	同　左	同　左
	個別諸元		・ｺｯﾀｰ継手　4ヶ所(引張2ヶ所，圧縮2ヶ所)	・ｽﾘｰﾌﾞ継手　10ヶ所(引張5ヶ所，圧縮5ヶ所) ・無収縮モルタル
事前計算値	許容荷重	Pa= 39.6 t （Sa= 39.6 t　道示）		
	終局荷重	Pu= 76.3 t （Su= 76.3 t　ACI略算）		
載荷ステップ		2 t	2 t	2 t
計測項目　共通		・荷重　・鉄筋強度 ・供試体変位 ・主鉄筋 ・ひび割れ状況 ・ｺﾝｸﾘｰﾄ強度（円柱供試体）	同　左	同　左
個別			・ｺｯﾀｰ継手ｱﾝｶｰ筋歪 ・ｱﾝｶｰ筋強度 ・ｺｯﾀｰ継手変形状況 ・ｺｯﾀｰ歪	・ｽﾘｰﾌﾞ歪

２．１．３　実験場所、載荷装置および実験工程

構造実験は建設省土木研究所構造物実験施設棟にて、３０００tonf大型構造部材万能試験機を用いて実施した。

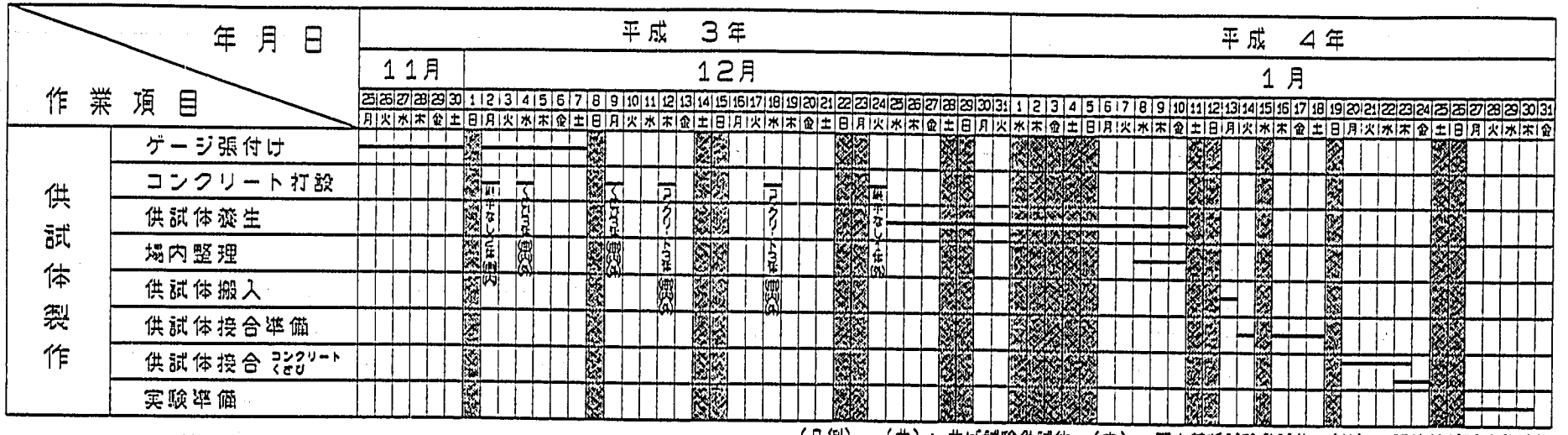
図－２．１．２に構造物実験施設棟概要図を、また表－２．１．５に供試体製作を含めた実験工程表を示した。



図－２．１．２　構造物実験施設棟概要図

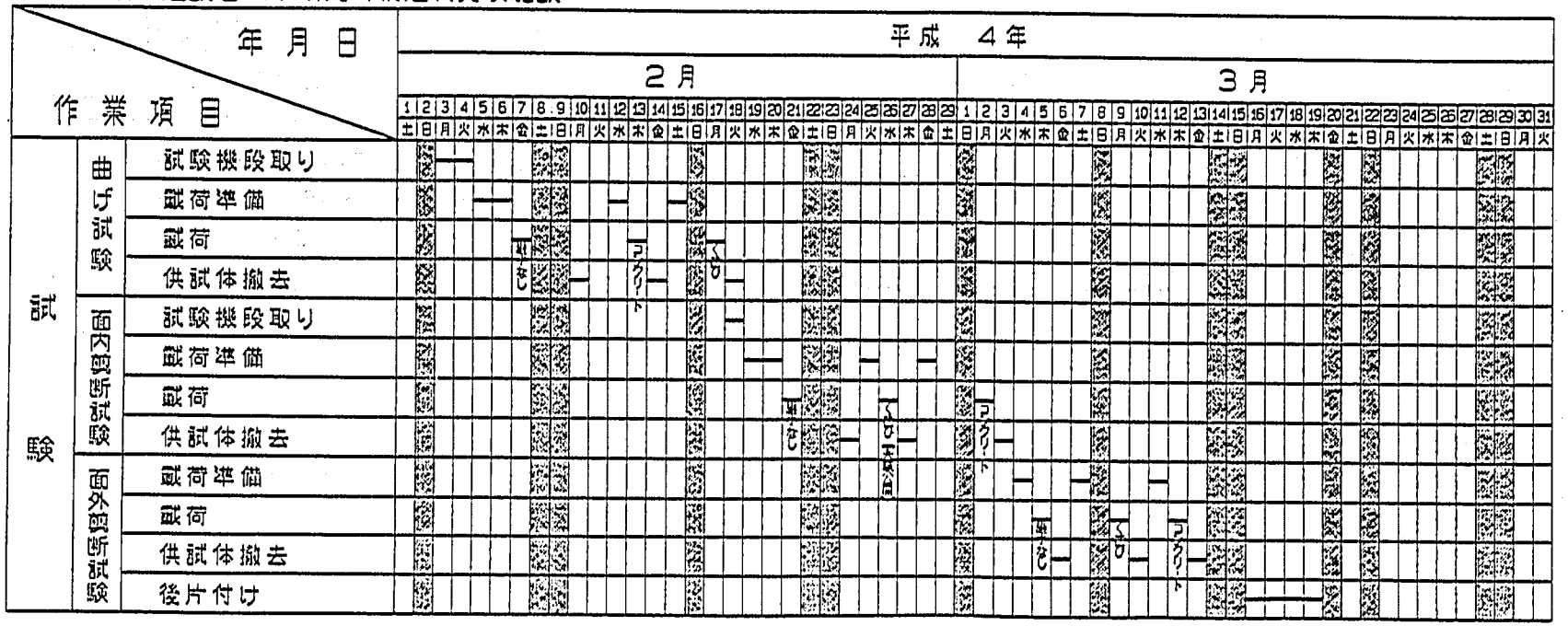
表－２．１．５　オーブンケーソン継手耐力および剛性評価試験実施工程表

供試体製作



（凡例）（曲）：曲げ試験供試体，（内）：面内剪断試験供試体，（外）：面外剪断試験供試体

試験　於：建設省土木研究所構造物実験施設



2．1．4　試験供試体と使用材料

実験に使用した供試体構造図を表－2．1．6に示す図番号にそれぞれを示した。

表－2．1．6　供試体構造図番表

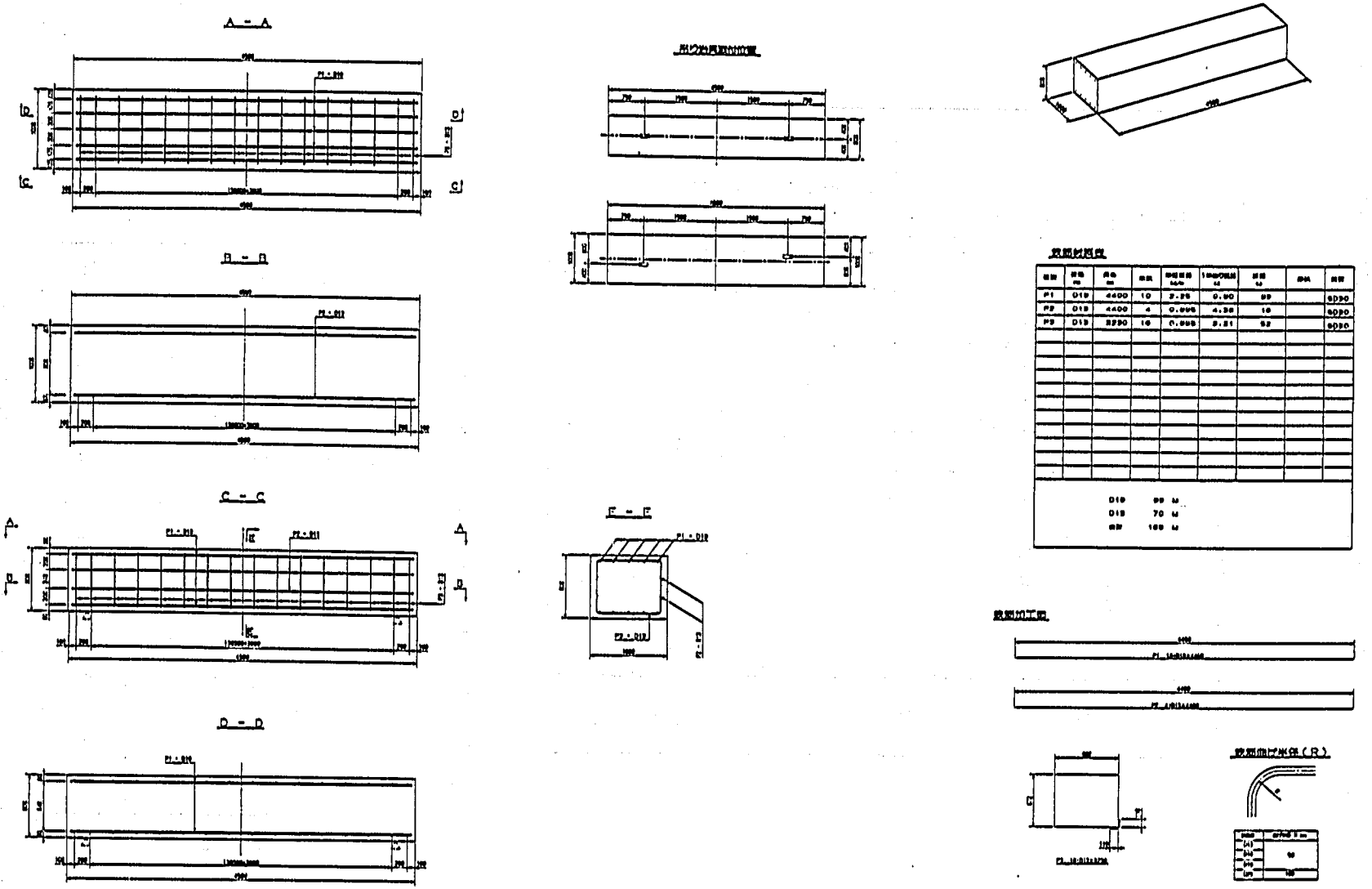
試験	継手の種類	位置	図番号
継手曲げ試験	継手なし	－	図－2．1．3
	くさび接合継手	左	図－2．1．4
		右	図－2．1．5
	ｺﾝｸﾘｰﾄ接合継手	左	図－2．1．6
		右	図－2．1．7
面内せん断試験	継手なし	－	図－2．1．8
	くさび接合継手	左	図－2．1．9
		右	図－2．1．10
	ｺﾝｸﾘｰﾄ接合継手	左	図－2．1．11
		右	図－2．1．12
面外せん断試験	継手なし	－	図－2．1．13
	くさび接合継手	左	図－2．1．14
		右	図－2．1．15
	ｺﾝｸﾘｰﾄ接合継手	左	図－2．1．16
		右	図－2．1．17

また、供試体コンクリートの示方配合を、表－2．1．7に示した。

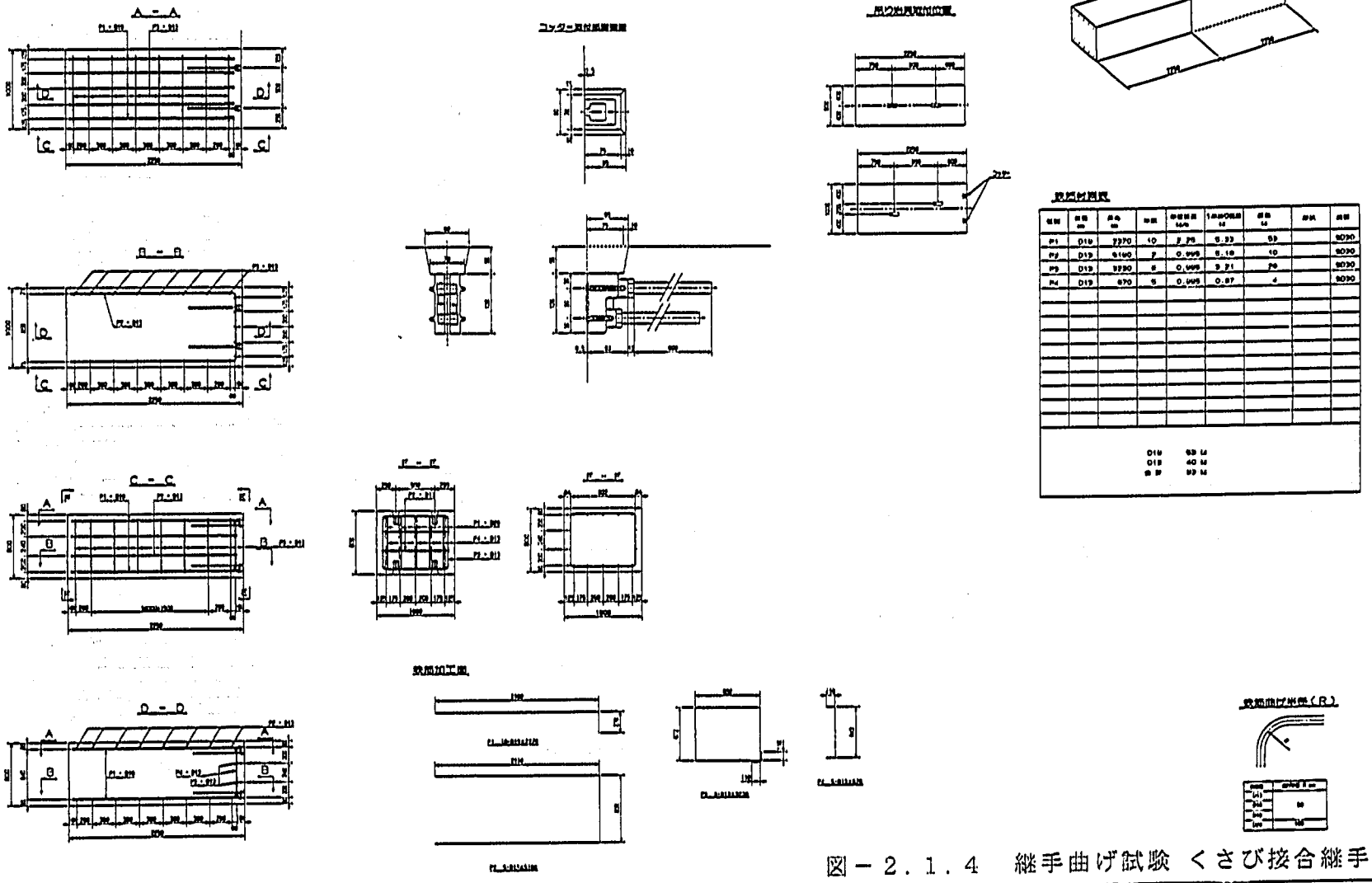
表－2．1．7　躯体コンクリートの示方配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水ｾﾒﾝﾄ比:W/C (%)	細骨材率:S/a (%)	単位量 (kgf/m³)				
					水	ｾﾒﾝﾄ	細骨材	粗骨材	混和剤
20	8±2	2±1	38.0	45	171	450	785	989	5.63

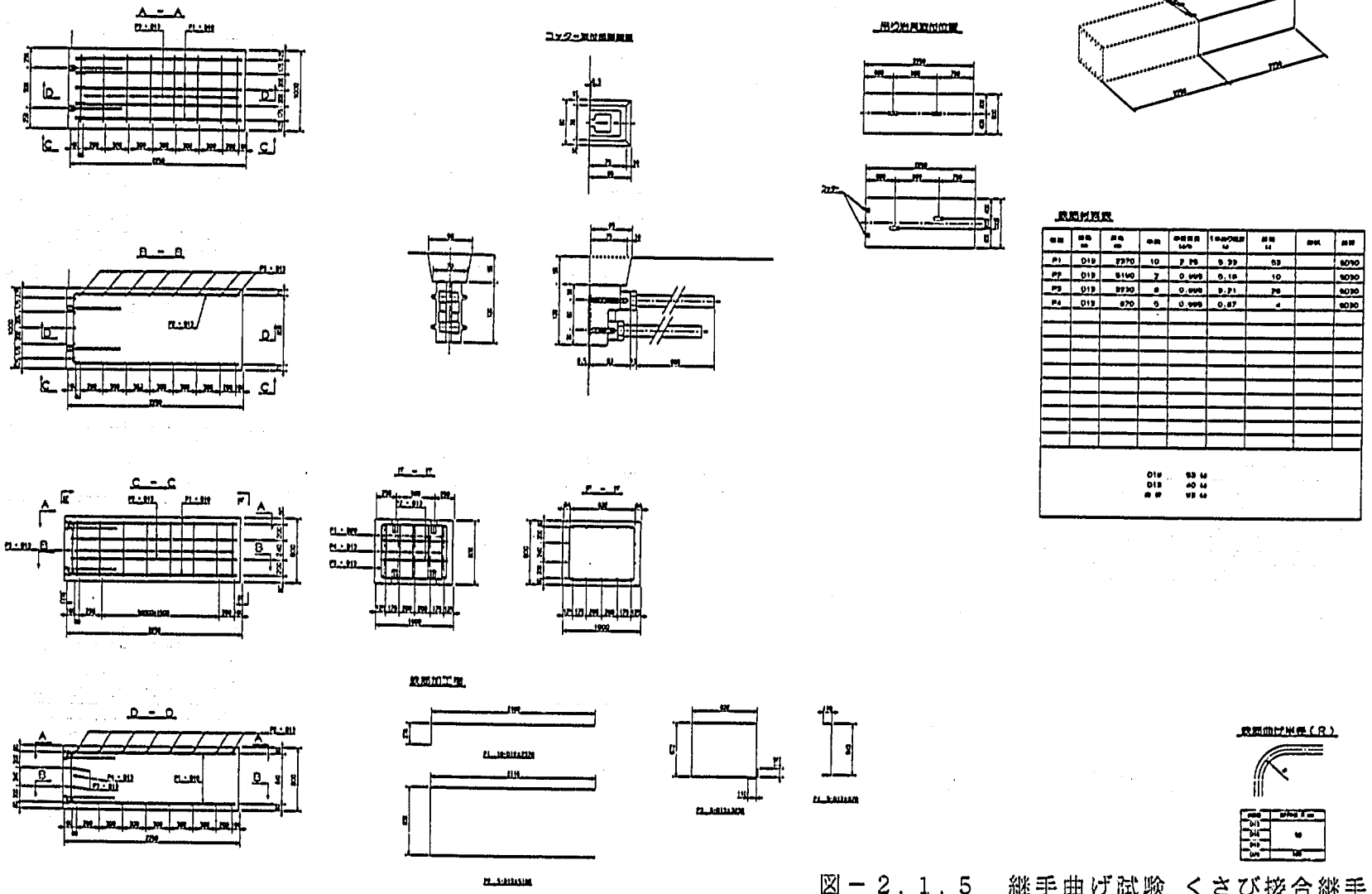
なお、継手構造、仕様は巻末の資料として添付してある。



図－２．１．３　継手曲げ試験 継手なし



図－２．１．４　継手曲げ試験　くさび接合継手（左）



図－２．１．５　継手曲げ試験 くさび接合継手（右）

(4)実行のための条件と起動方法

1)実行時のファイル構成

A:

```
¥BRUN45.EXE
¥RCBOAT
    ¥RCBOAT00.EXE
    ¥RCBOAT01.EXE
    ¥RCBOAT02.EXE
    ¥RCBOAT03.EXE
    ¥RCBOAT04.EXE
    ¥RCBOAT05.EXE
    ¥RCBOAT06.EXE
    ¥RCBOAT11.EXE
    ¥RCBOAT12.EXE
    ¥RCBOAT21.EXE
    ¥RCBOAT22.EXE
    ¥RCBOAT31.EXE
    ¥RCBOAT.FON
    ¥RCBOAT.TIL
    ¥RCBOAT.REF
```

[QB45の実行ランタイムパッケージ]

[実行形式ファイル、以下12本]

[8ドット文字用フォント]

[13色タイルデータ]

[起動時読込みデータ]

・ディレクトリ「¥RCBOAT」は変更不可

・ドライブはカレントドライブであればどこでも良い。

・ただし、ルートディレクトリに「¥BRUN45.EXE」が必要

2)データドライブのファイル構成例

B:

```
¥DOKEN
    ¥********.TXT
    ¥********.BUF
    ¥********.GRD
    ¥********.MES
    ¥********.DPT
    ¥********.IMG
    ¥********.BRG
    ..........
    ¥IMAGE.REF
    ¥********.BI1
    ¥********.BI2
    ¥********.BI3
    ¥********.BI4
```

[ランダムデータファイル]

[四角メッシュデータファイルその1]

[四角メッシュデータファイルその2 細分割化]

[四角メッシュデータファイルその3 疑似橋脚]

[データ収録システムのデータ]

[イメージングソナー用データ]

[橋脚の形状データ]

[ＣＲＴのイメージ保存のインデックス]

[ＣＲＴのイメージデータその1]

[ＣＲＴのイメージデータその2]

[ＣＲＴのイメージデータその3]

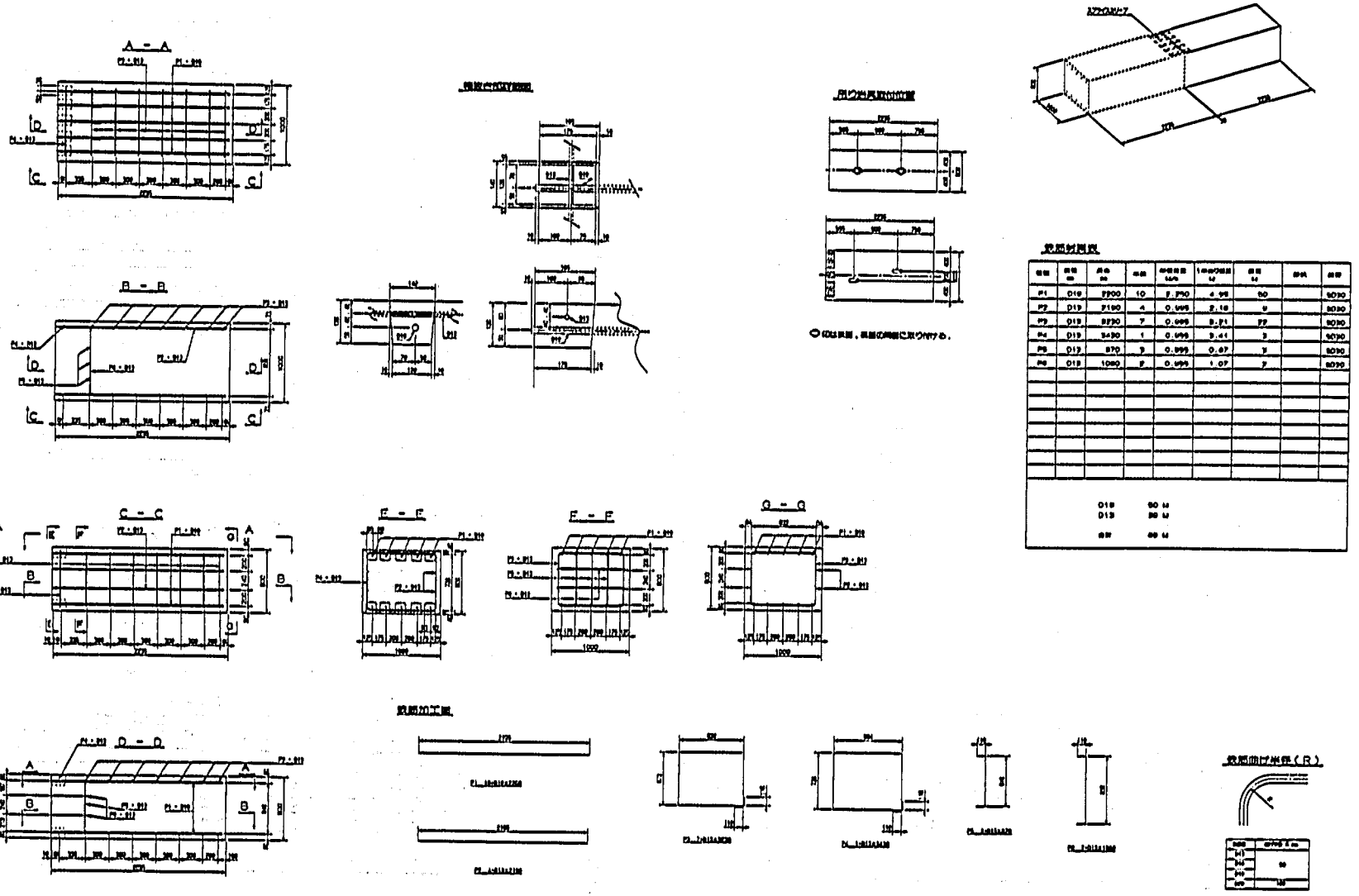
[ＣＲＴのイメージデータその4]

・ディレクトリ「¥DOKEN」は変更可能

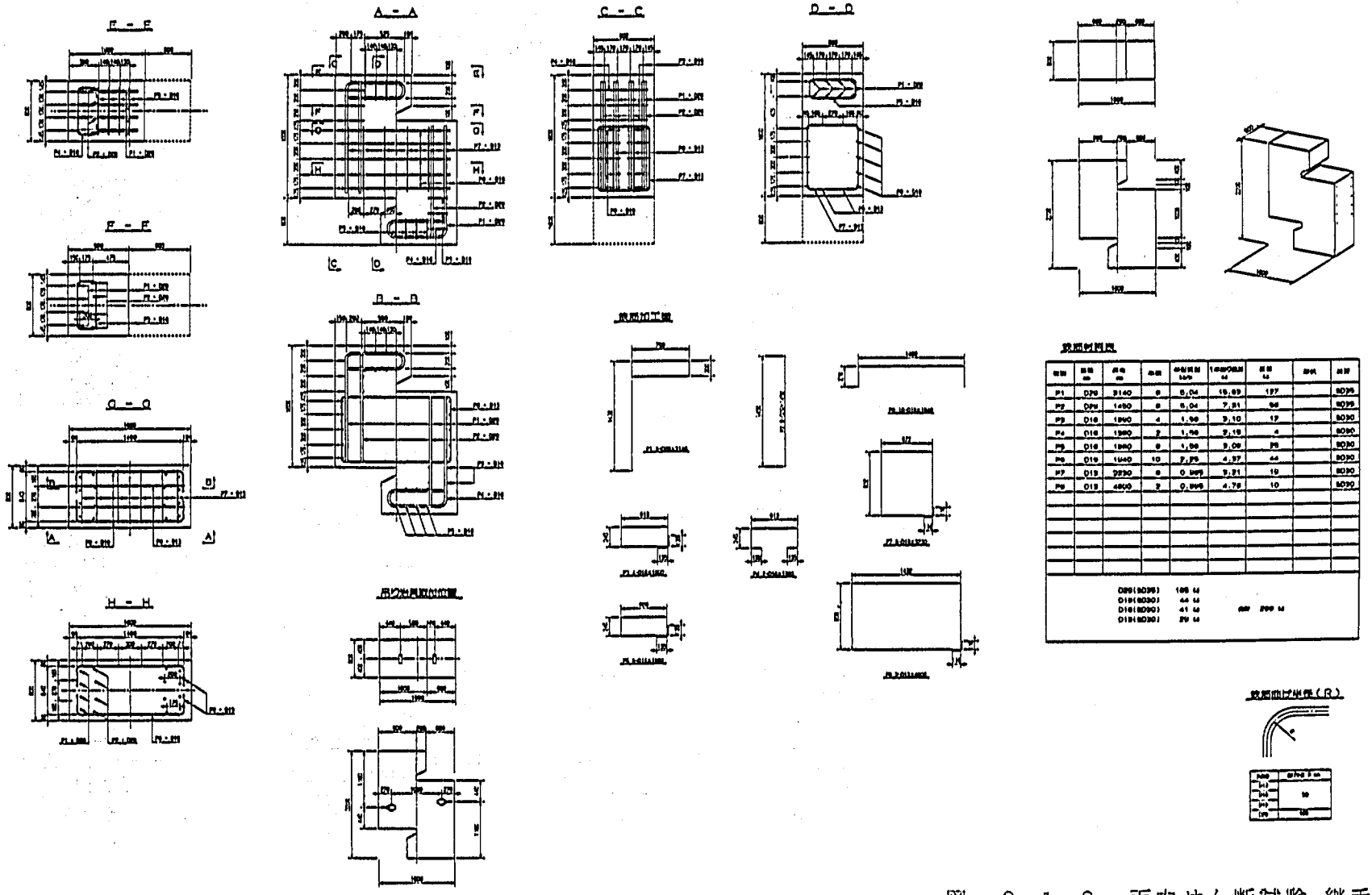
3)起動方法

¥RCBOAT¥RCBOAT00

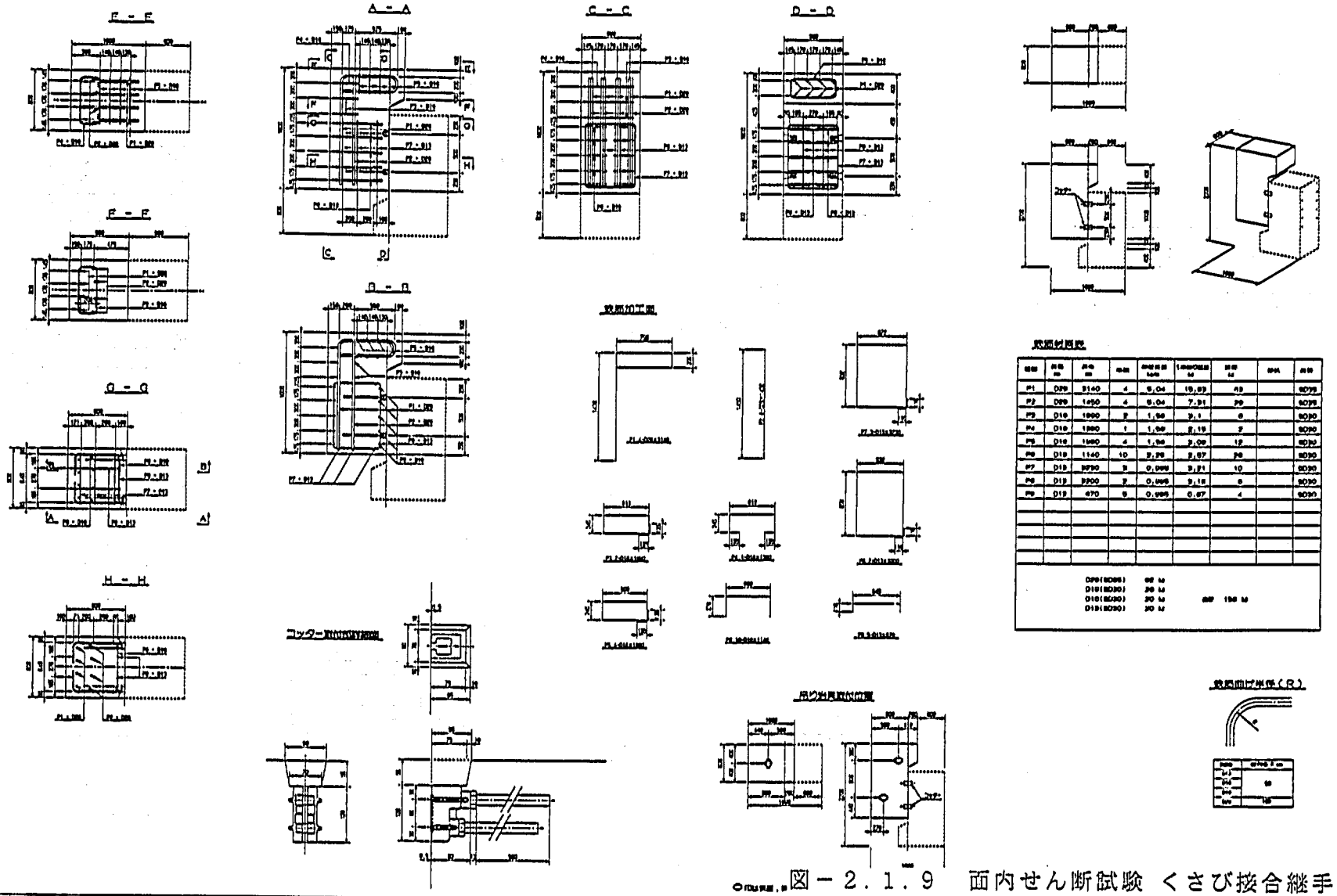
図－2.1.6 継手曲げ試験 コンクリート接合継手（左）



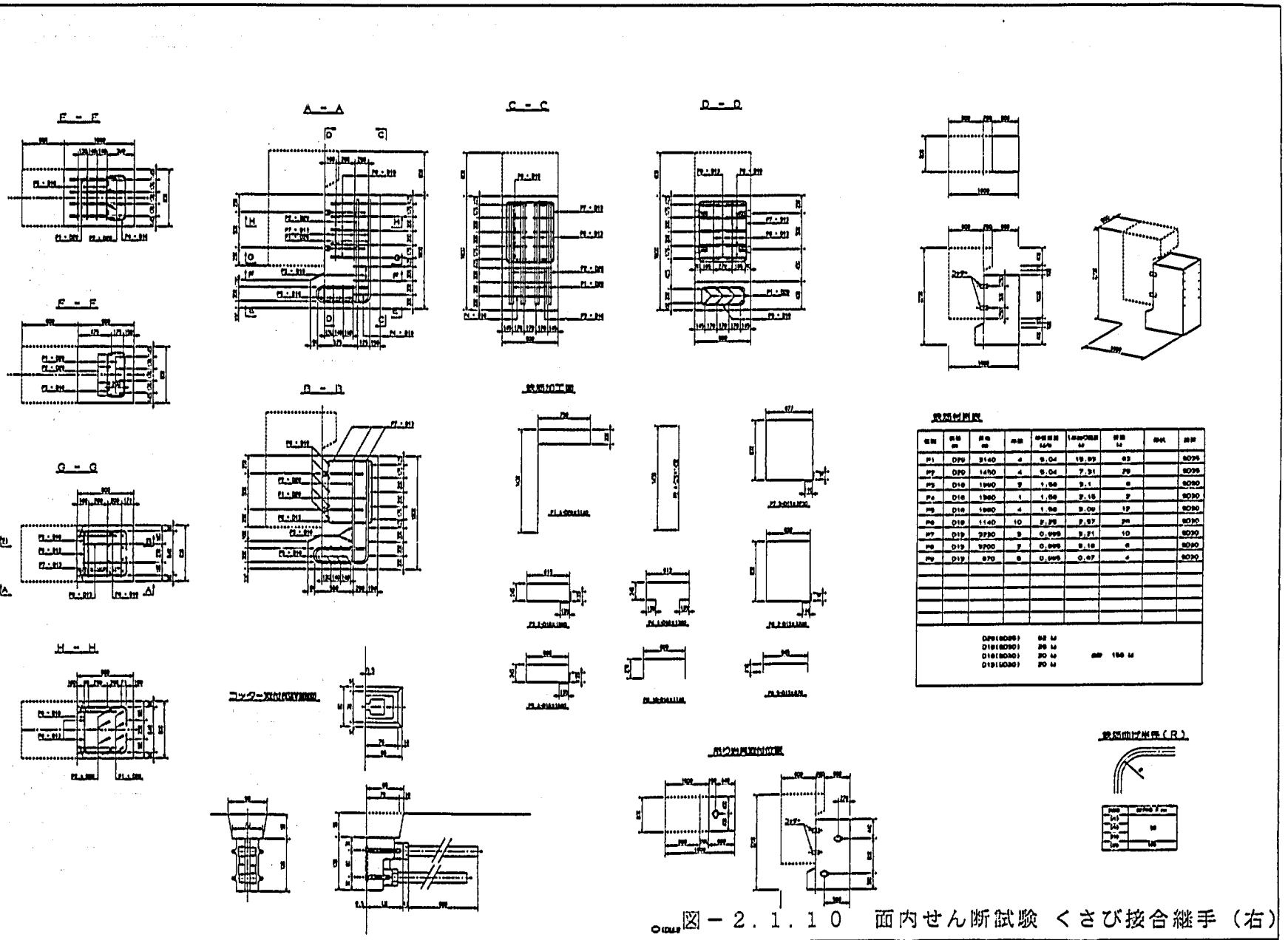
図－２．１．７　継手曲げ試験 コンクリート接合継手（右）



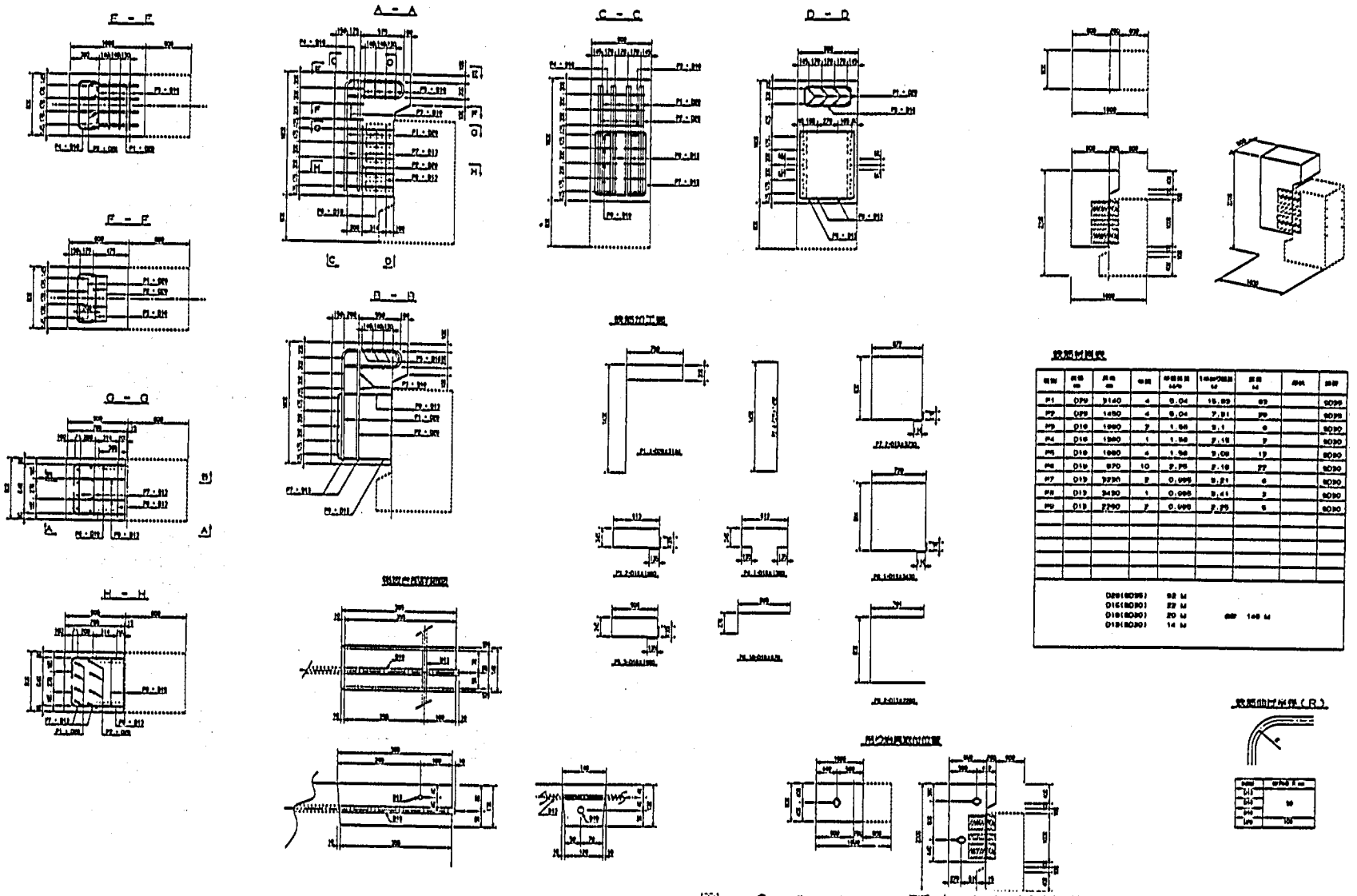
図－２．１．８　面内せん断試験 継手なし



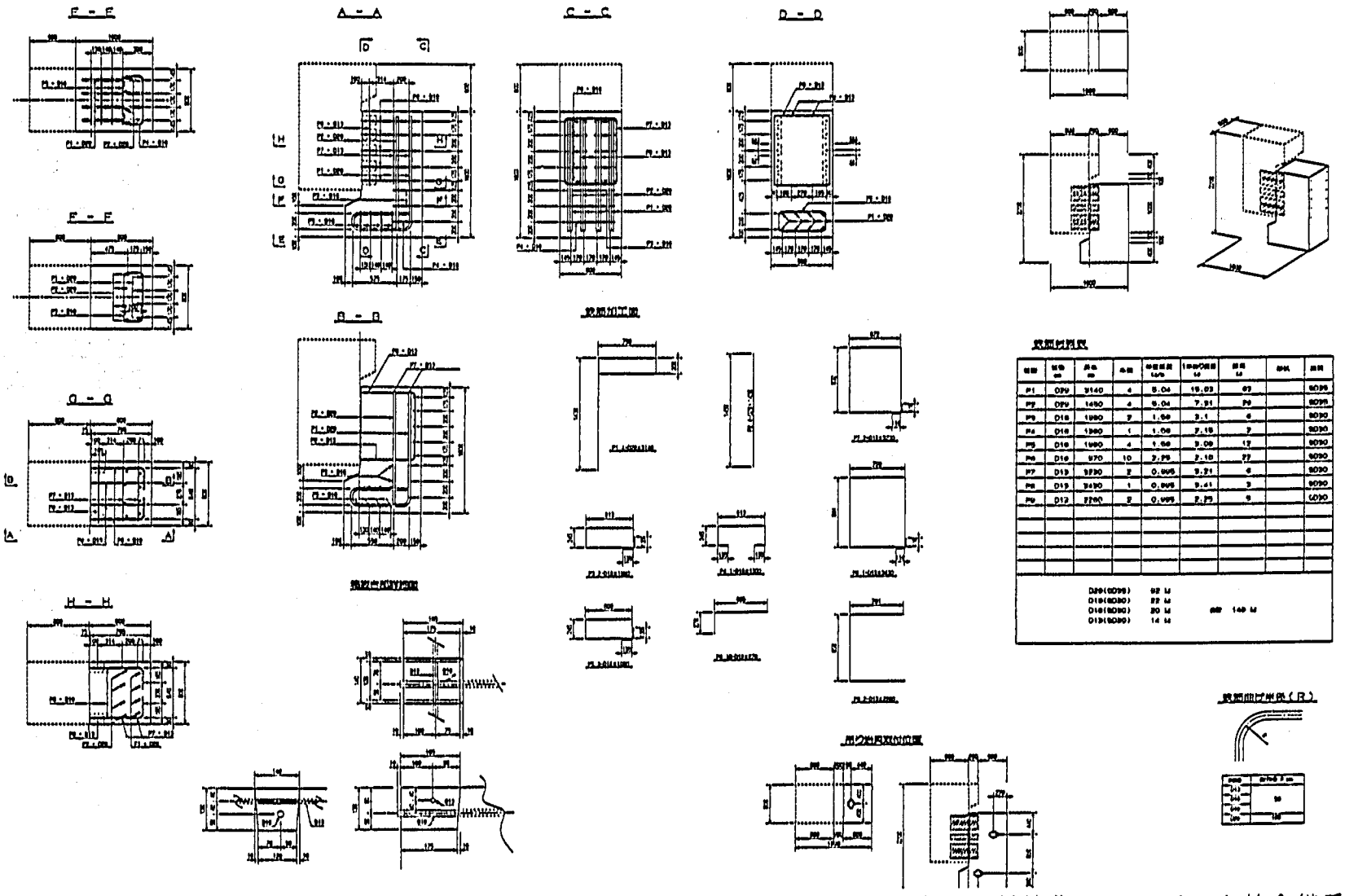
図－２．１．９　面内せん断試験 くさび接合継手（左）



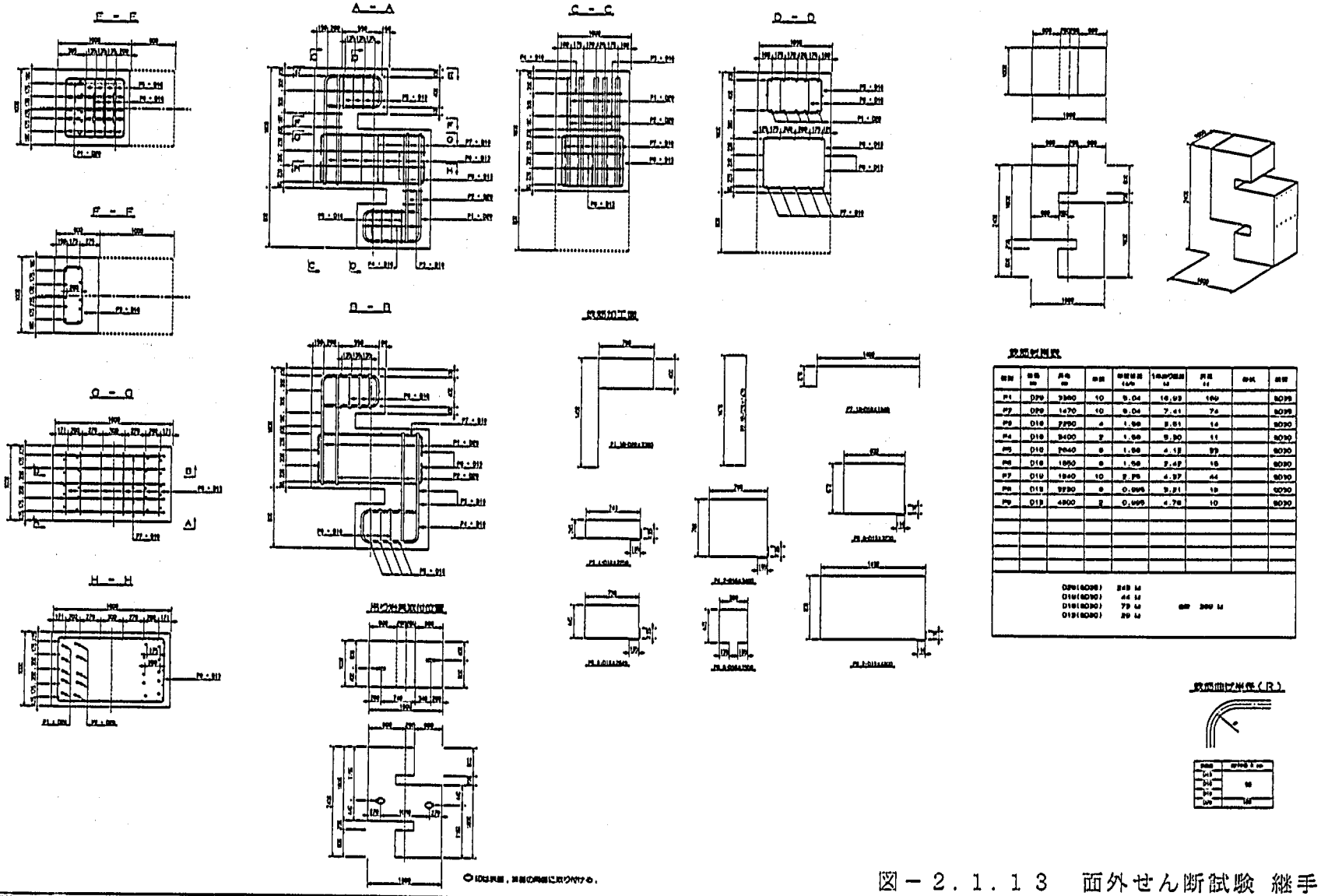
図－２．１．１０　面内せん断試験　くさび接合継手（右）



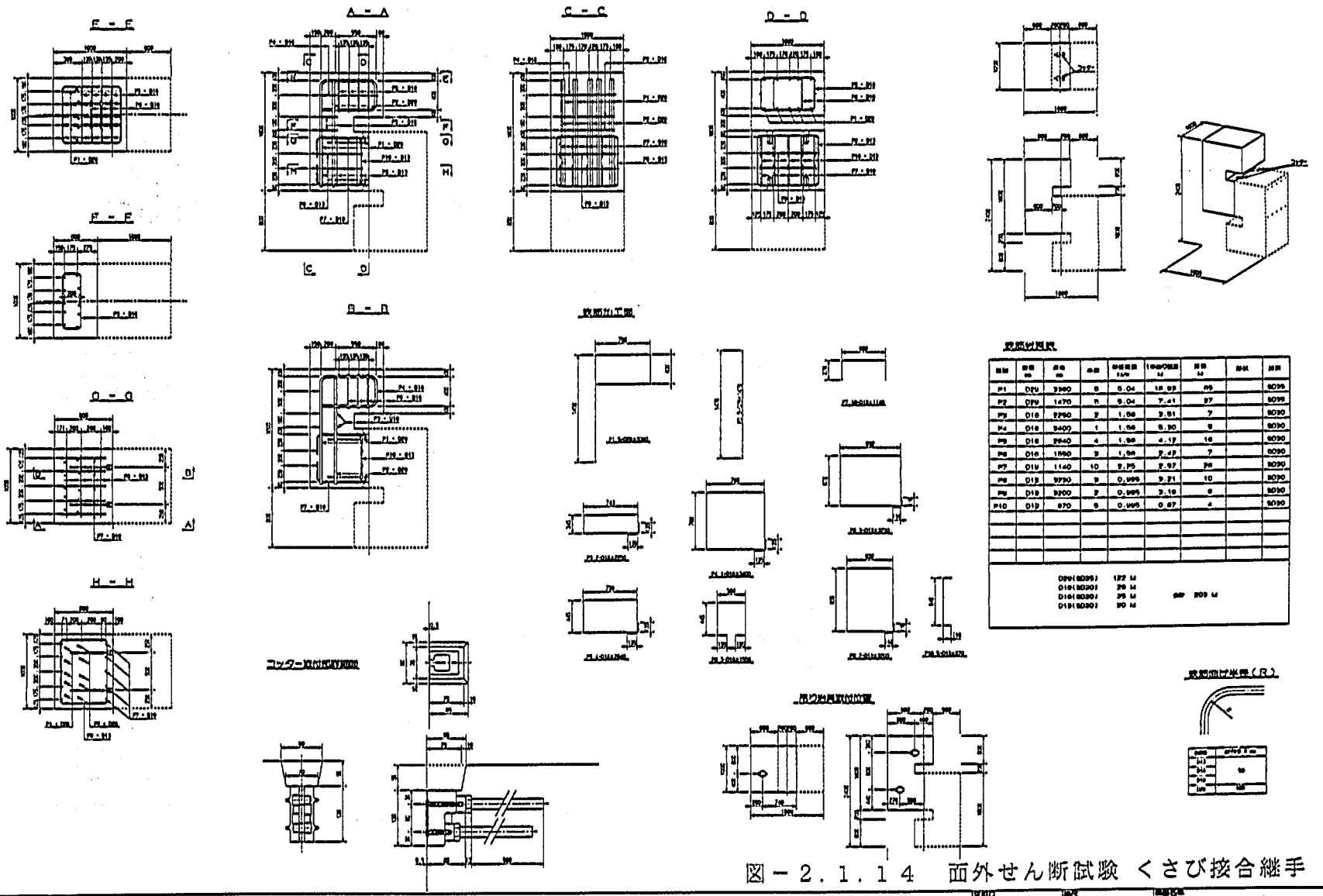
図－２．１．１１　面内せん断試験 コンクリート接合継手（左）



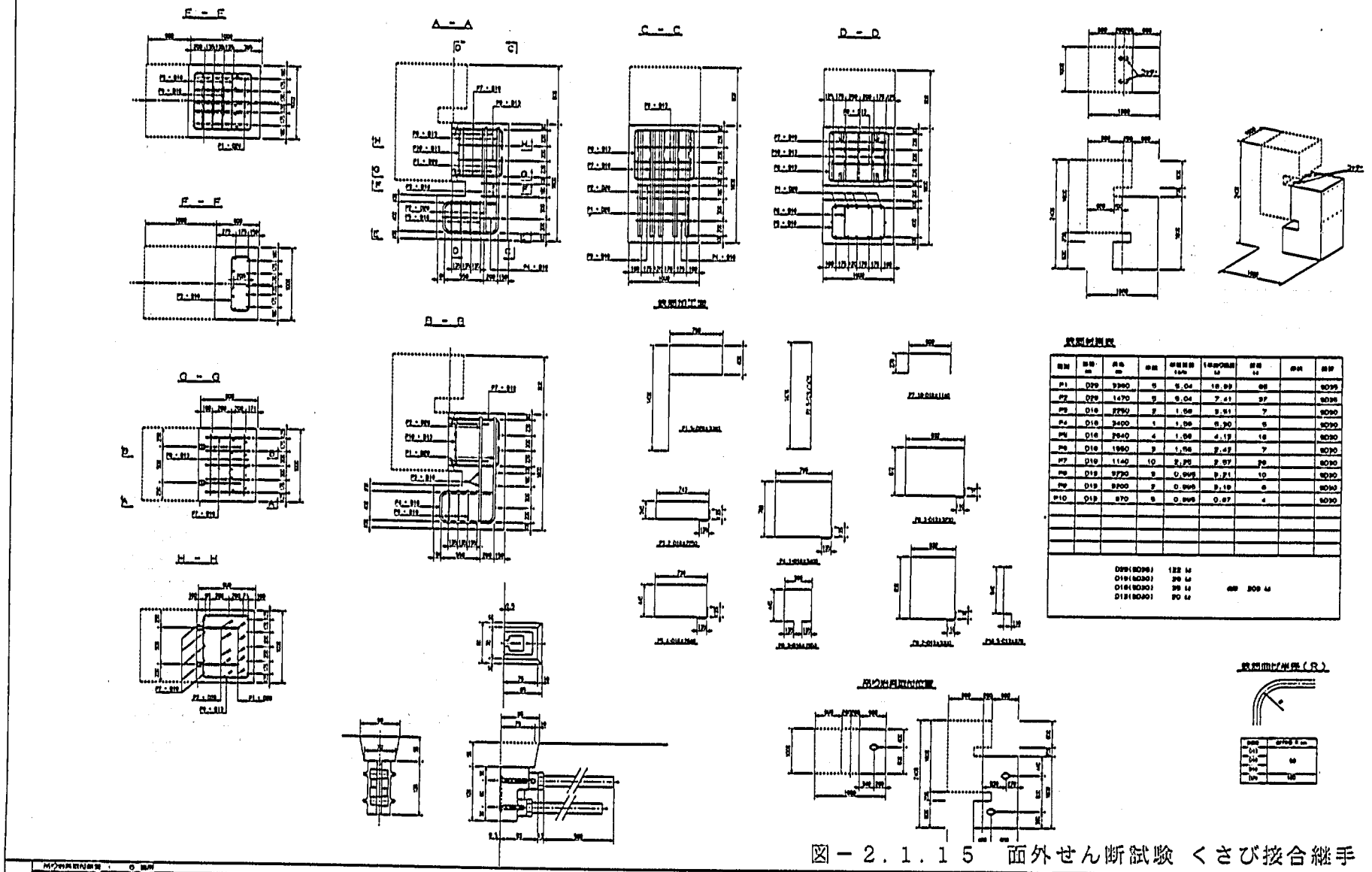
図－２．１．１２　面内せん断試験 コンクリート接合継手（右）



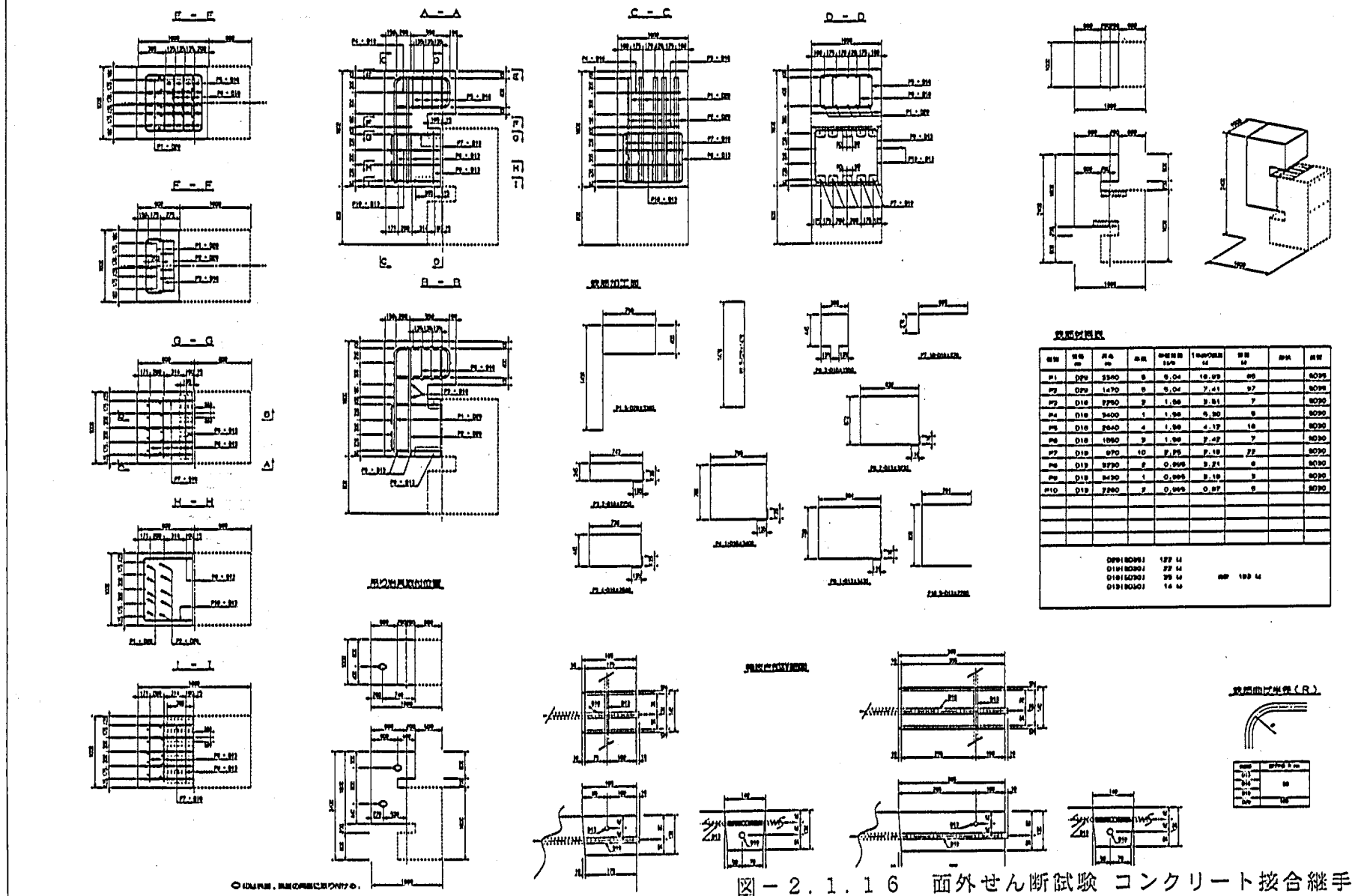
図－２．１．１３　面外せん断試験 継手なし



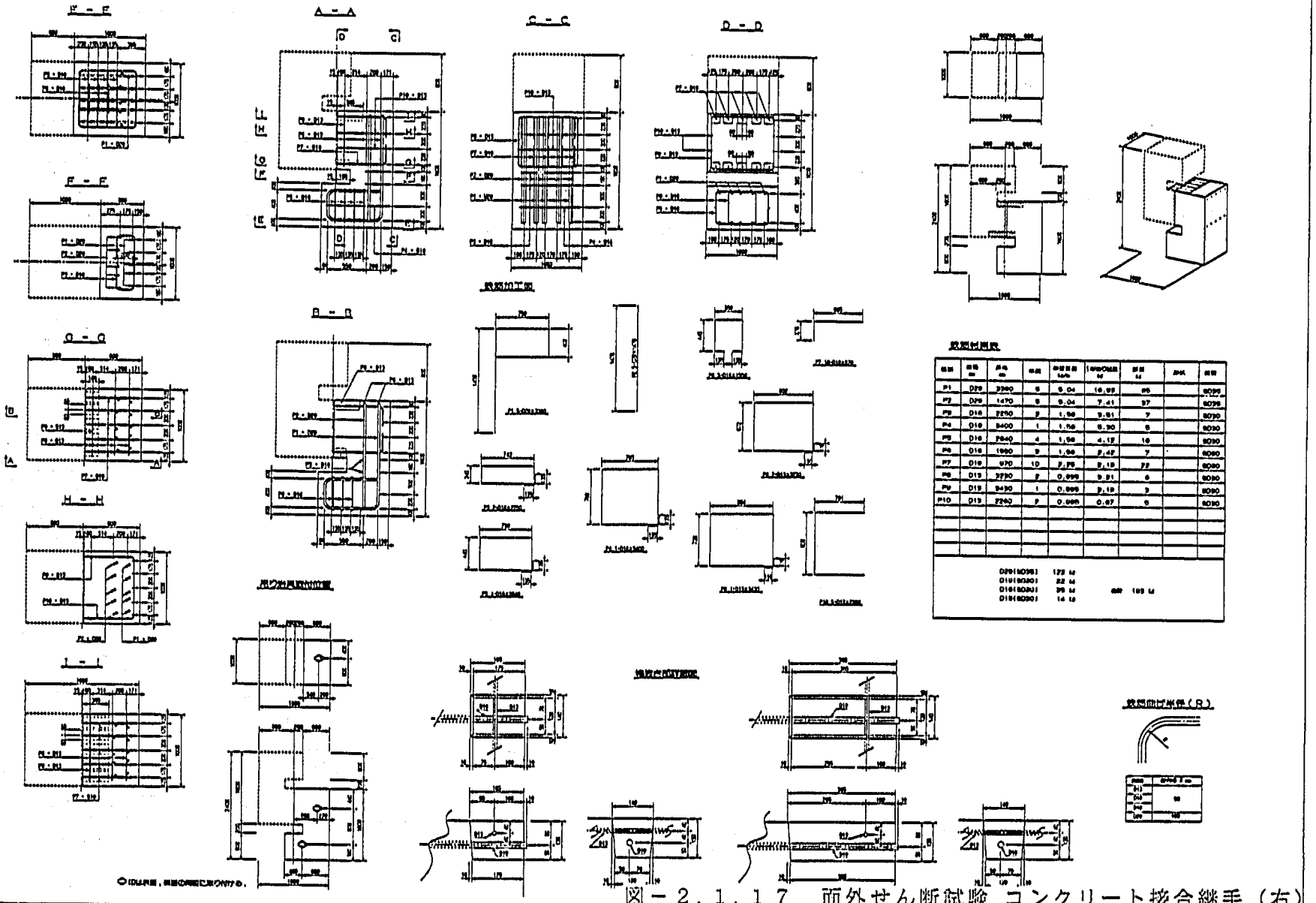
図－２．１．１４　面外せん断試験 くさび接合継手（左）



図－２．１．１５　面外せん断試験 くさび接合継手（右）



図－２．１．１６　面外せん断試験 コンクリート接合継手（左）



図－２．１．１７　面外せん断試験 コンクリート接合継手（右）

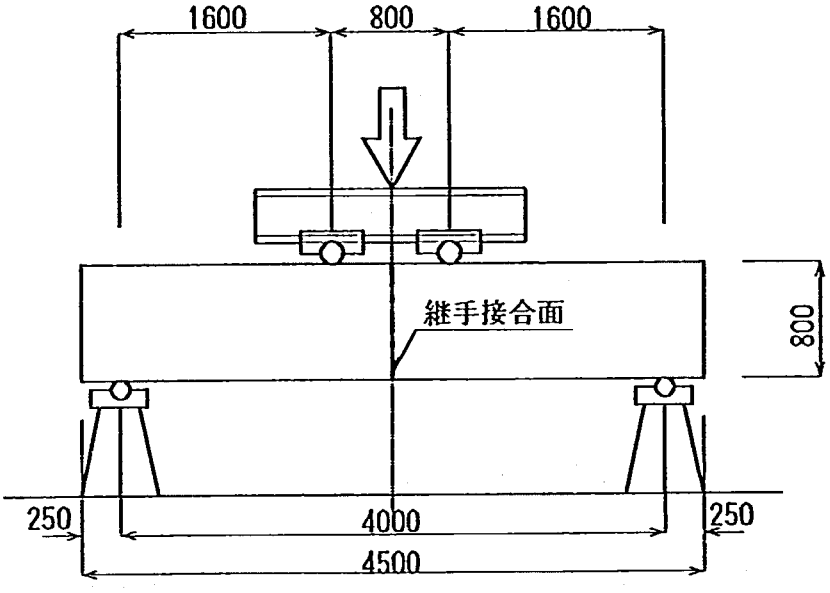
２．１．５　実験方法と計測項目

(1) 継手曲げ試験

1) 載荷方法

載荷は、図－２．１．１８に示す載荷装置により「２点載荷法（純曲げ載荷）」にて行った。したがって継手接合面は、載荷点間の純曲げ区間中央に位置する。

また載荷パターンは、２tfピッチにて単調増加載荷で行った。

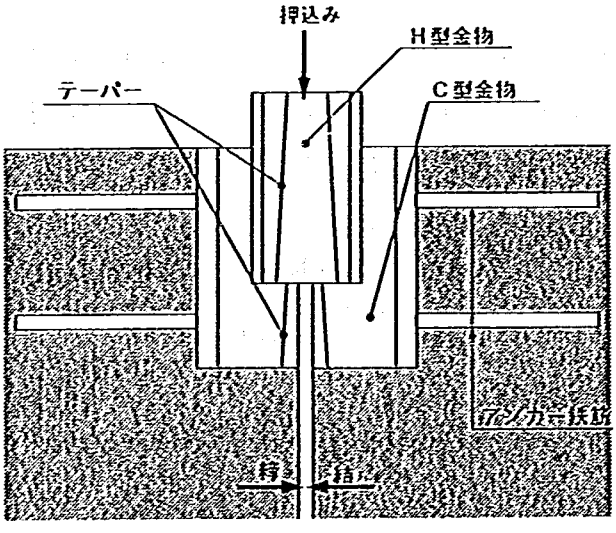


図－２．１．１８　継手曲げ試験載荷装置

2) 供試体の接合

①くさび接合継手

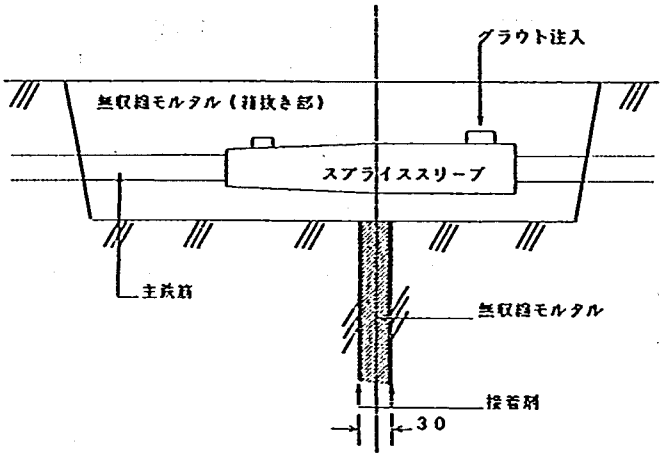
コンクリートブロックを水平に設置し、継手部のＣ型金物にＨ型金物を油圧式の圧入機で押し込んで接合した。圧入は、１tf毎に対角に移動しながら最終荷重３．５tfで圧入を完了した。供試体設置作業時の緩みを取るため、試験開始直前にも再度３．５tfで圧入を行い、確認を行った。



図－２．１．１９　くさび継手

②コンクリート接合継手

コンクリートブロックを水平に設置し、片方のブロックに側枠を両面テープで固定して、両側のブロック接合面に接着剤を塗布しブロックを３cmの間隔まで寄せる。接着剤塗布後３時間放置し、その後ブロック間に無収縮モルタルを打設する。無収縮モルタルと接着剤の合計厚は３０㎜である。養生は一定温度を保つため、打設後電気毛布で保温養生を行った。



図－２．１．２０　コンクリート接合継手

表－２．１．８　コンクリート接合継手使用材料

用　途	商　品　名	メーカー	材　料　試　験
ブロック接合用 無収縮モルタル	ＭＣＲアーマ ＃５１０	三菱工業 セメント㈱	平均圧縮強度 ：σ＝ 517 (kgf/cm²)
ブロック接合用 接着剤	ＡＣ４０８	東邦 天然ガス㈱	平均曲げ強度 ：σ＝ 18.0(kgf/cm²)
鉄筋接合用グラウト(ｽﾘｰﾌﾟ充填用)	ＳＳモルタル	㈱スプライス スリーブ社	平均圧縮強度 ：σ＝ 762 (kgf/cm²)
箱抜き部充填用 無収縮モルタル	エコマＳ８８Ｃ	ポゾリス 物産㈱	平均圧縮強度 ：σ＝ 728 (kgf/cm²)

継手曲げ試験に用いた各ブロックのコンクリート圧縮強度を表－２．１．９に示す。また、各実験に共通して用いた躯体用鉄筋、くさび継手のＣ型金具を固定するアンカー筋については、その材料と試験結果を表－２．１．１０に示す。

表－２．１．９　コンクリートブロック材料試験結果

継手種類	継手なし	くさび接合継手	ｺﾝｸﾘｰﾄ接合継手	備　考
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ圧縮強度 ：fc(kgf/cm²)	718	781 (L811, R750)	704 (L811, R750)	両継手供試体については 左右ﾌﾞﾛｯｸの平均強度

表－２．１．１０　鉄筋材料試験結果

用　途	規　格	降伏点 :f_y (kgf/cm²)	降伏点 :f_y (kgf/cm²)	弾性係数 :f_y (kgf/cm²)
躯体鉄筋	SD-30 D-19	4.625	7.222	2.25×10^6
くさびアンカー筋	ボロン鋼, F-10T	8.950	9.879	1.90×10^6

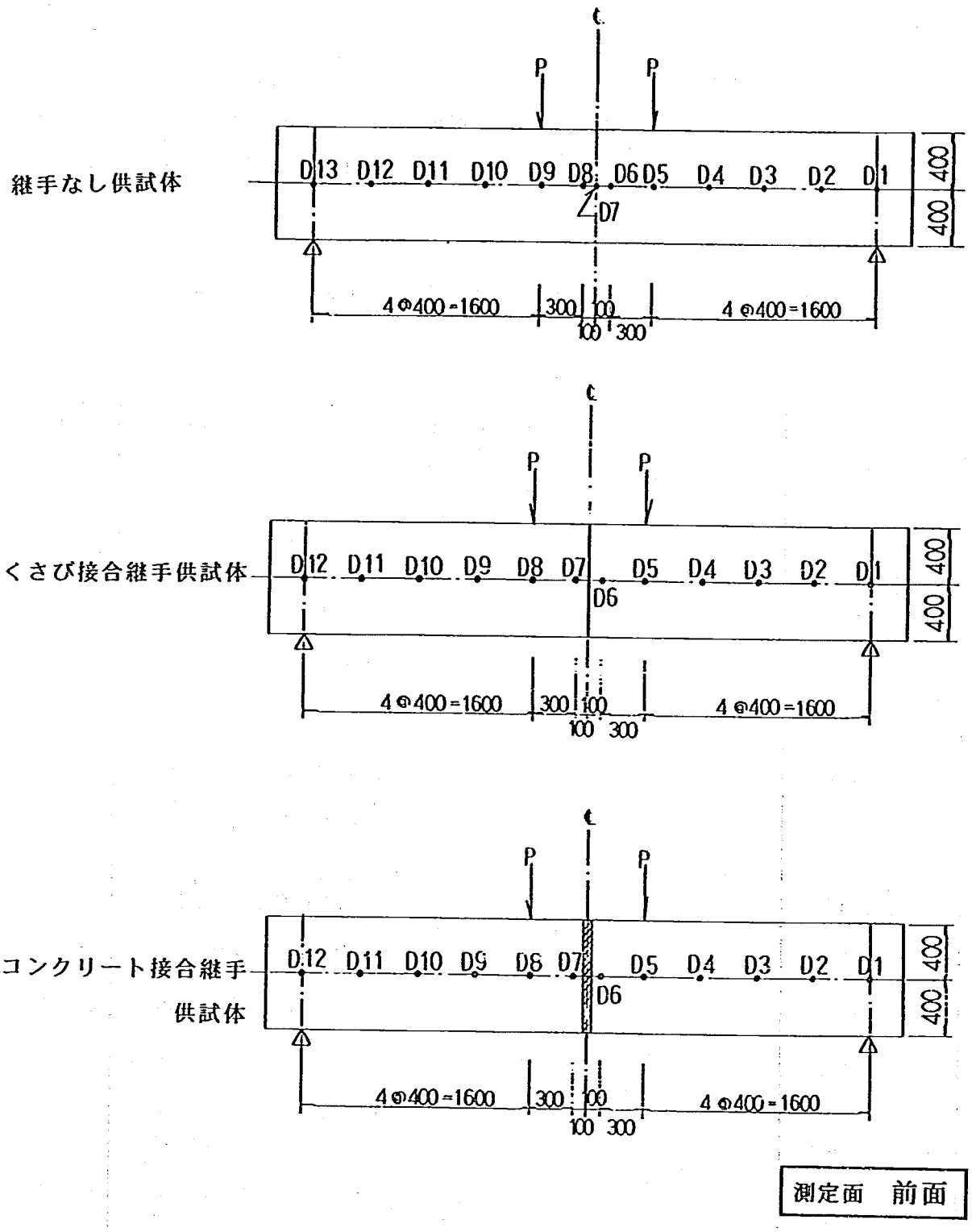
（各値は、試験結果の平均値を示す）

3）計測項目

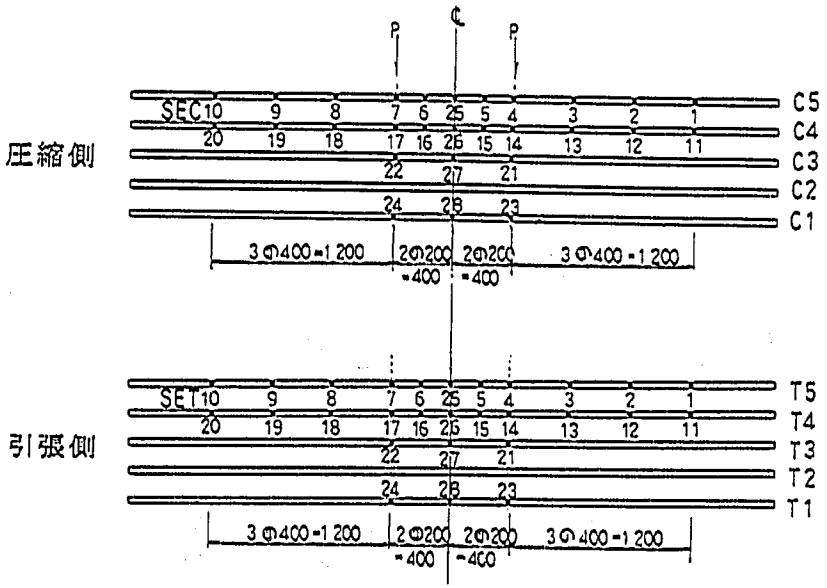
計測項目および計測方法は表－２．１．１１の通りである。

表－２．１．１１　計測項目及び計測方法

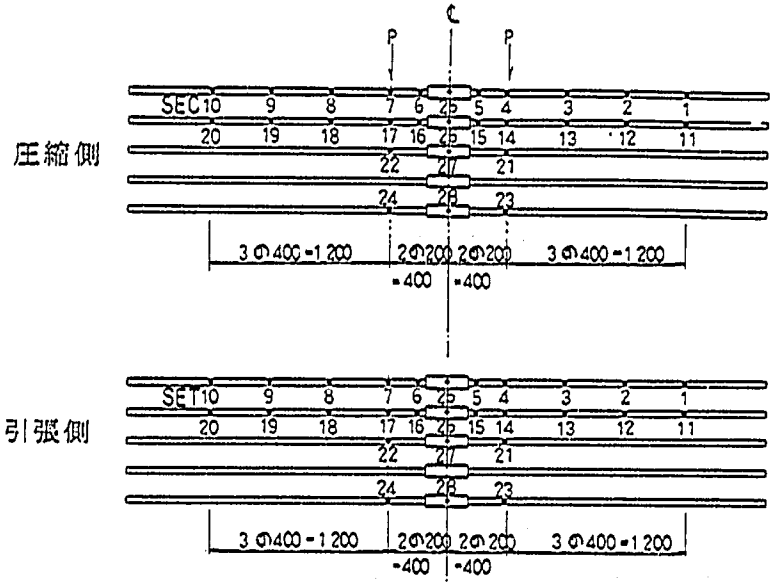
計測項目	継手なし	くさび接合継手	コンクリート接合継手	計　測　方　法	図　番
荷　重	○	○	○	ロードセルによる	
供試体変位	○	○	○	変位計による	図－2.1.21
主鉄筋ひずみ	○	○	○	ひずみゲージによる	図－2.1.22
コンクリートひずみ	○	○	○	ひずみゲージによる	図－2.1.23
ひびわれ状況	○	○	○	目視、写真、ＶＴＲ等	
コンクリート強度／弾性係数	○	○	○	供試体打設時に作成する円柱供試体（３本）(JIS-A1108, A1132)	
主鉄筋強度／弾性係数	○	○	○	代表主鉄筋で実施 (JIS-Z2210, Z2241)	
くさびアンカー筋歪		○		ひずみゲージによる	図－2.1.24
くさび歪		○		ひずみゲージによる	図－2.1.24
くさび継手変形		○		目視、写真、ＶＴＲ等	
くさびアンカー筋強度／弾性係数		○		代表アンカー鉄筋で実施 (JIS-Z2210, Z2241)	
スリーブ歪			○	ひずみゲージによる	図－2.1.25
目開き量		○	○	πゲージによる	図－2.1.26



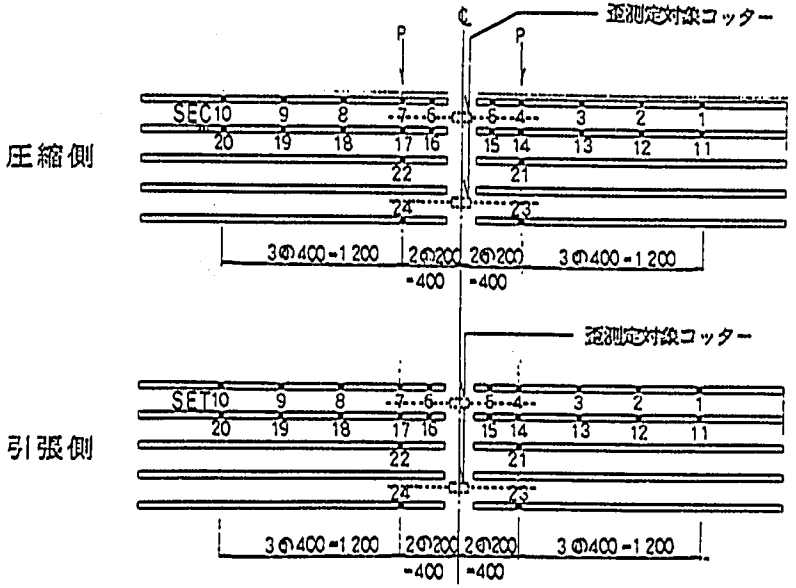
図－２．１．２１　曲げ試験時 変位測定位置図



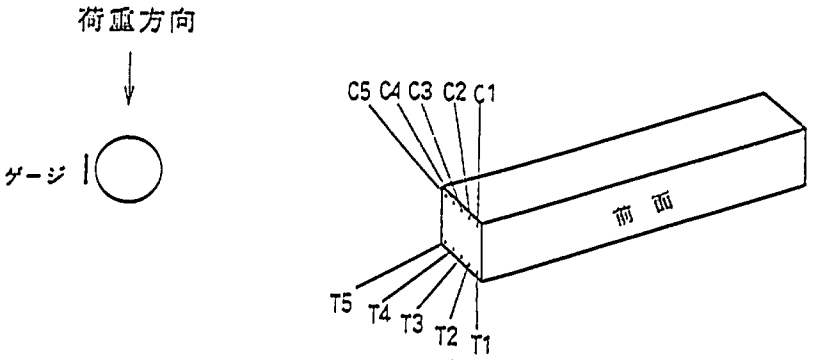
継手なし供試体



コンクリート接合継手供試体　25～28はスリーブ上

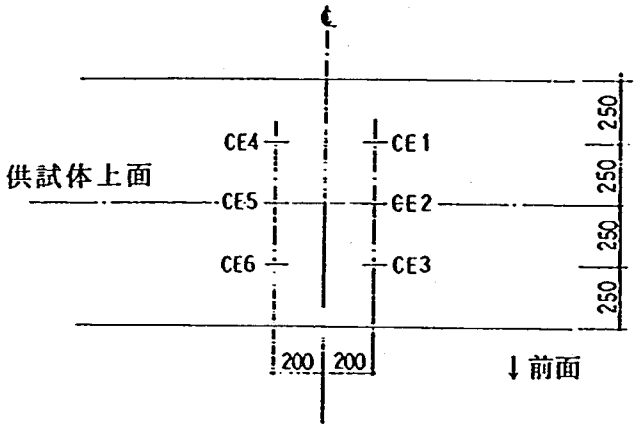


くさび接合継手供試体

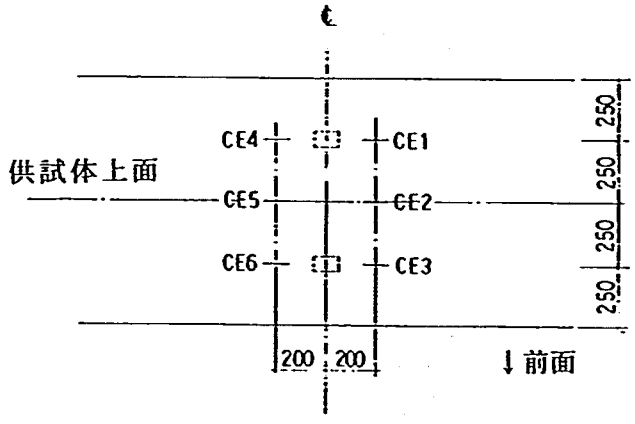


図－２．１．２２　鉄筋歪み測定位置図

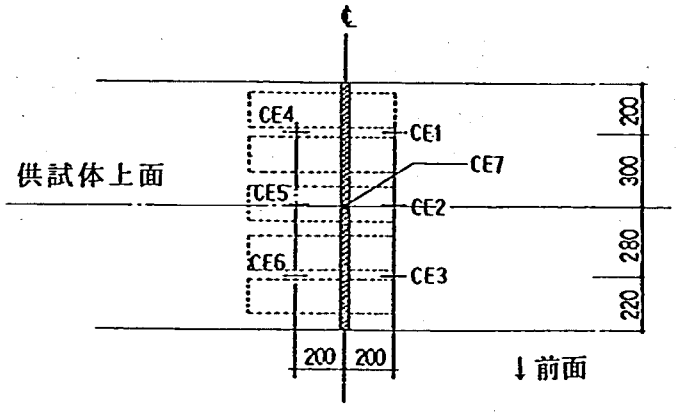
継手なし供試体



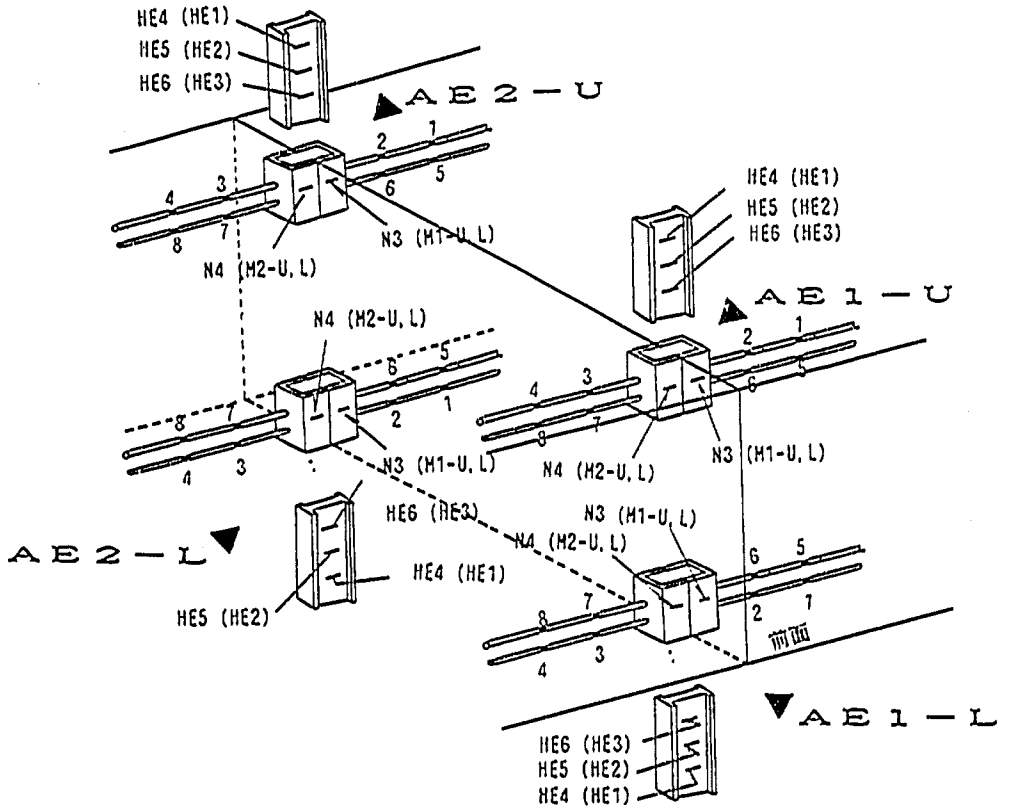
くさび接合継手供試体



コンクリート接合継手供試体

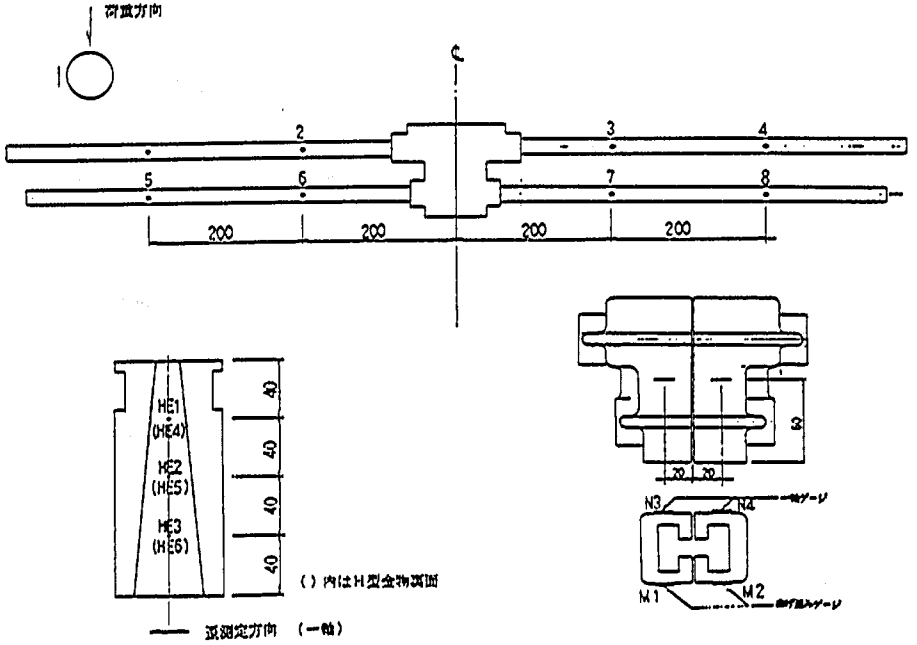


図－２．１．２３　コンクリート歪み測定位置図

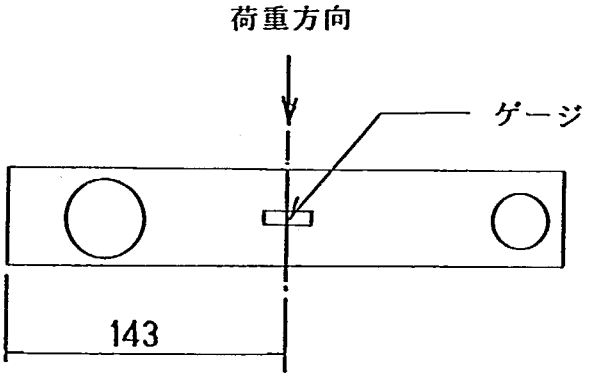


C　型　：AE1－U. L　AE2－U. L
H　型　：AE1－U. L　AE2－U. L
アンカー筋：AE1－U. L　AE2－U. L

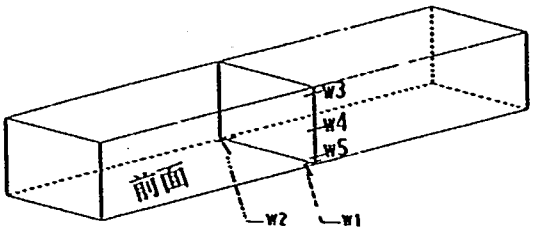
（ ）：打設面

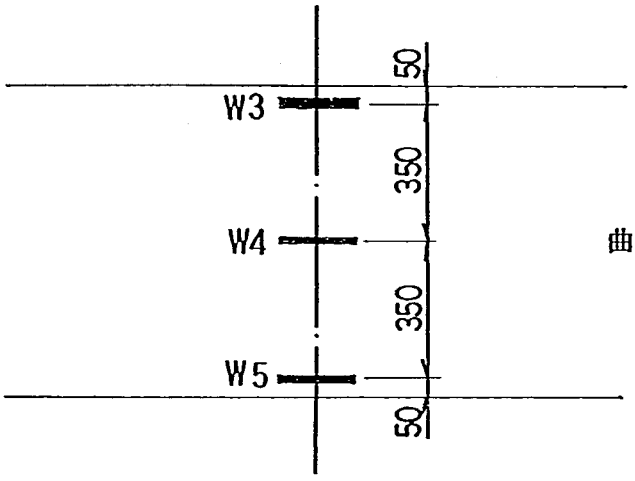


図－2．1．24　コッター、アンカー筋歪み測定位置図

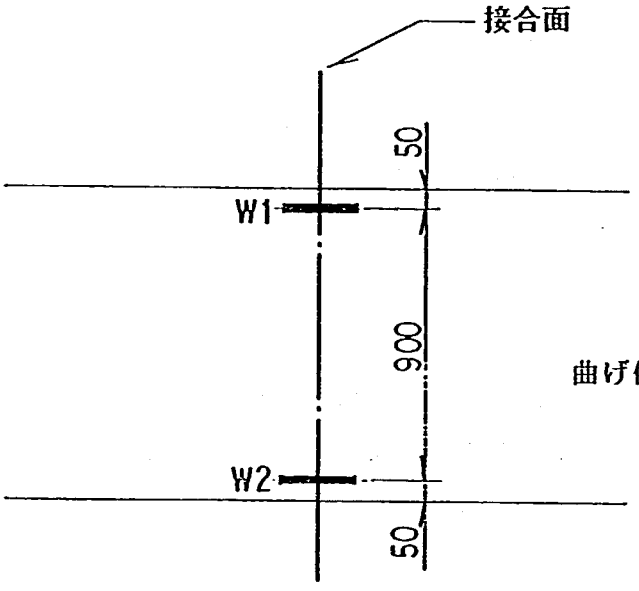


図－２．１．２５　スリーブ歪み測定位置図





曲げ供試体側面



曲げ供試体下面

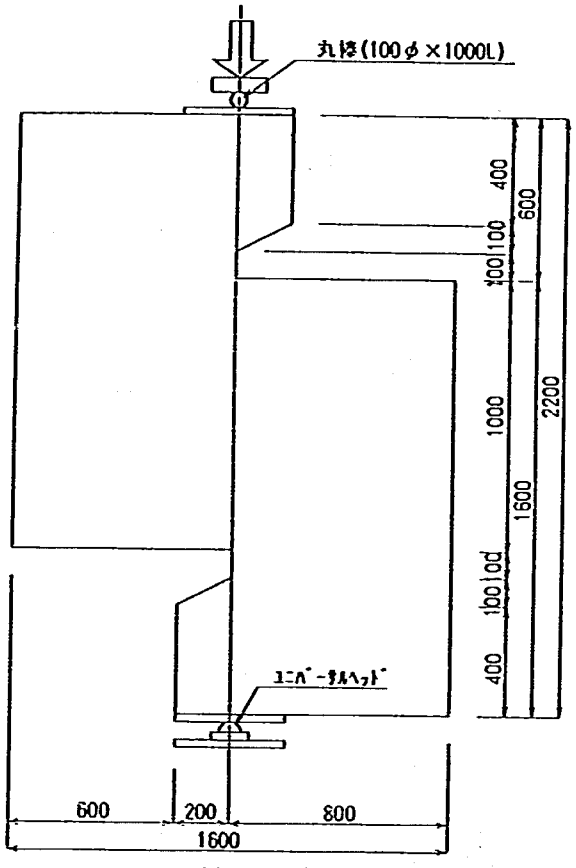
対象供試体：くさび接合曲げ供試体
コンクリート接合曲げ供試体

図－２．１．２６　目開き量測定位置図

(2) 継手面内せん断試験

1) 載荷方法

載荷は、図－２．１．２７に示す載荷装置により「単純せん断載荷」にて行なった。また、載荷パターンは、２tfピッチ程度にて単調増加で載荷した。



図－２．１．２７　継手面内せん断試験載荷装置

2) 供試体の接合

接合は、(1)継手曲げ試験と同様の手順にて各継手とも接合した。コンクリート接合継手に使用した材料試験結果を、表－２．１．１２に示した。図他はすべて継手曲げ試験と同じである。

表－２．１．１２　コンクリート継手接合使用材料

用　途	商品名	メーカー	材料試験
ブロック接合用無収縮モルタル	ＭＣＲアーマ＃５１０	三菱工業セメント㈱	平均圧縮強度 σ ＝ 565 (kgf/cm²)
ブロック接合用接着剤	ＡＣ４０８	東邦天然ガス㈱	平均曲げ強度 σ ＝ 25.1(kgf/cm²)
鉄筋接合用グラウト(ｽﾘｰﾌﾟ充填用)	ＳＳモルタル	㈱スプライススリーブ社	平均圧縮強度 σ ＝ 806 (kgf/cm²)
箱抜き部充填用無収縮モルタル	エコマＳ８８Ｃ	ポゾリス物産㈱	平均圧縮強度 σ ＝ 843 (kgf/cm²)

また、継手面内せん断試験に用いた供試体のコンクリート圧縮強度を表－2．1．13に示す。

表－2．1．13　供試体材料試験結果

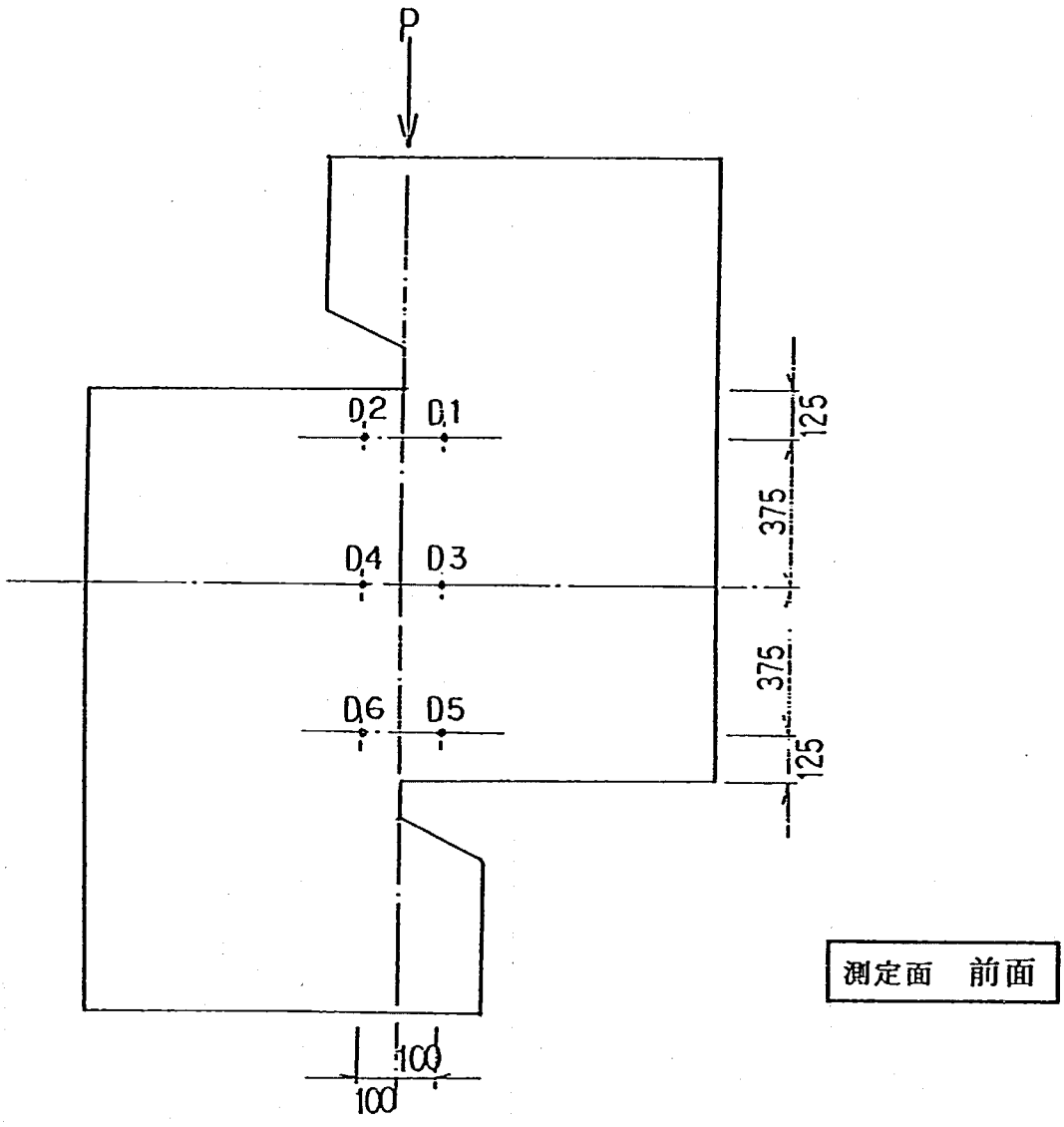
継手種類	継手なし	くさび接合継手	コンクリート接合継手	備　　考
本体コンクリート圧縮強度 :fc(kgf/cm²)	773	750 (L715, R785)	769 (L721, R817)	両継手供試体については左右ブロックの平均強度

3) 計測項目

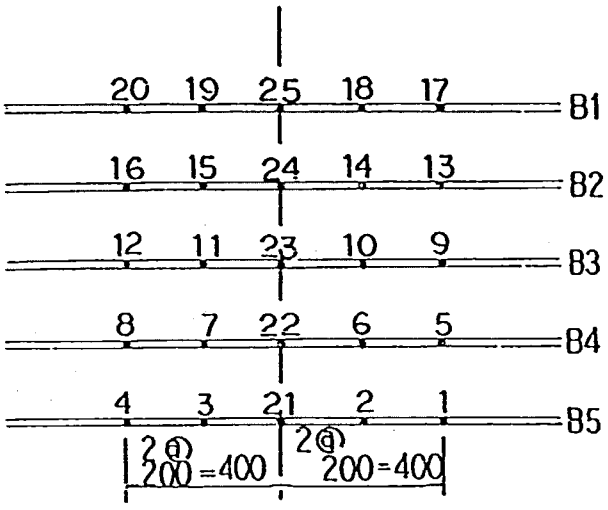
計測項目および計測方法は表－2．1．14の通りである。

表－2．3．14　計測項目および計測方法

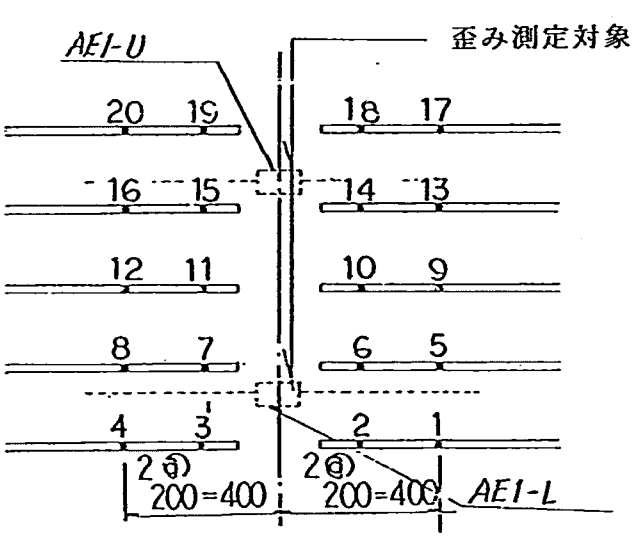
計測項目	継手なし	くさび接合継手	コンクリート接合継手	計　測　方　法	図　番
荷　　重	○	○	○	ロードセルによる	
供試体変位	○	○	○	変位計による	図－2.1.28
主鉄筋ひずみ	○	○	○	ひずみゲージによる	図－2.1.29
コンクリートひずみ	○	○	○	ひずみゲージによる	図－2.1.30
ひびわれ状況	○	○	○	目視、写真、ＶＴＲ等	
コンクリート強度／弾性係数	○	○	○	供試体打設時に作成する円柱供試体（３本）(JIS-A1108, A1132)	
主鉄筋強度／弾性係数	○	○	○	代表主鉄筋で実施 (JIS-Z2210, Z2241)	
くさびアンカー筋歪		○		ひずみゲージによる	図－2.1.31
くさび歪		○		ひずみゲージによる	図－2.1.31
くさび継手変形		○		目視、写真、ＶＴＲ等	
くさびアンカー筋強度／弾性係数		○		代表アンカー鉄筋で実施 (JIS-Z2210, Z2241)	
スリーブ歪			○	ひずみゲージによる	図－2.1.32



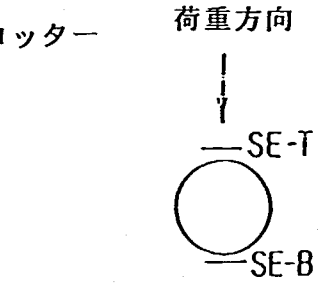
図－２．１．２８　面内せん断試験時 変位測定位置図

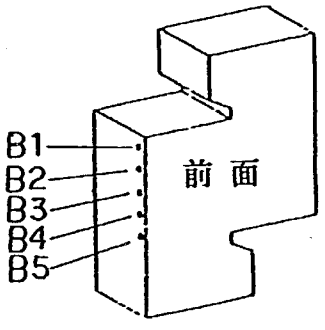


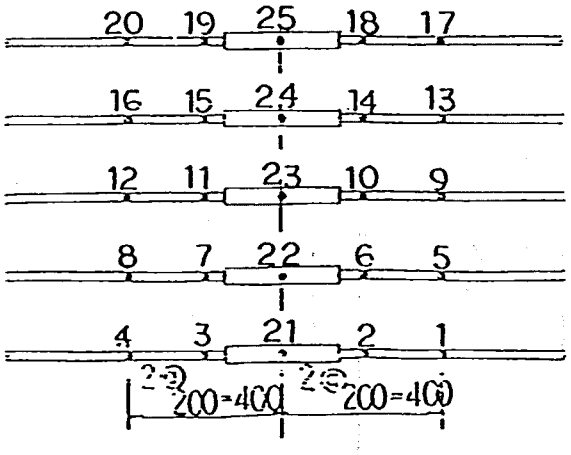
継手なし供試体



くさび接合継手供試体

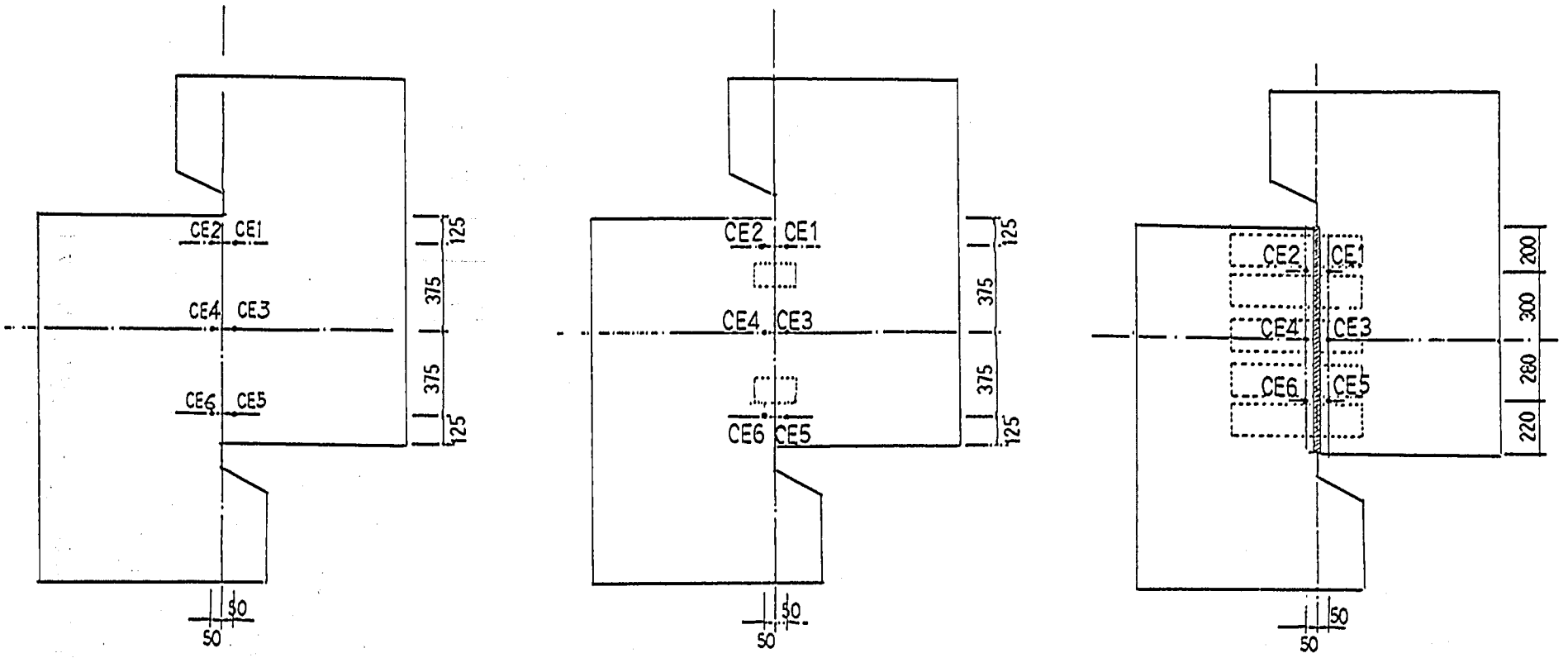






コンクリート接合継手供試体　２１～２５はスリーブ上

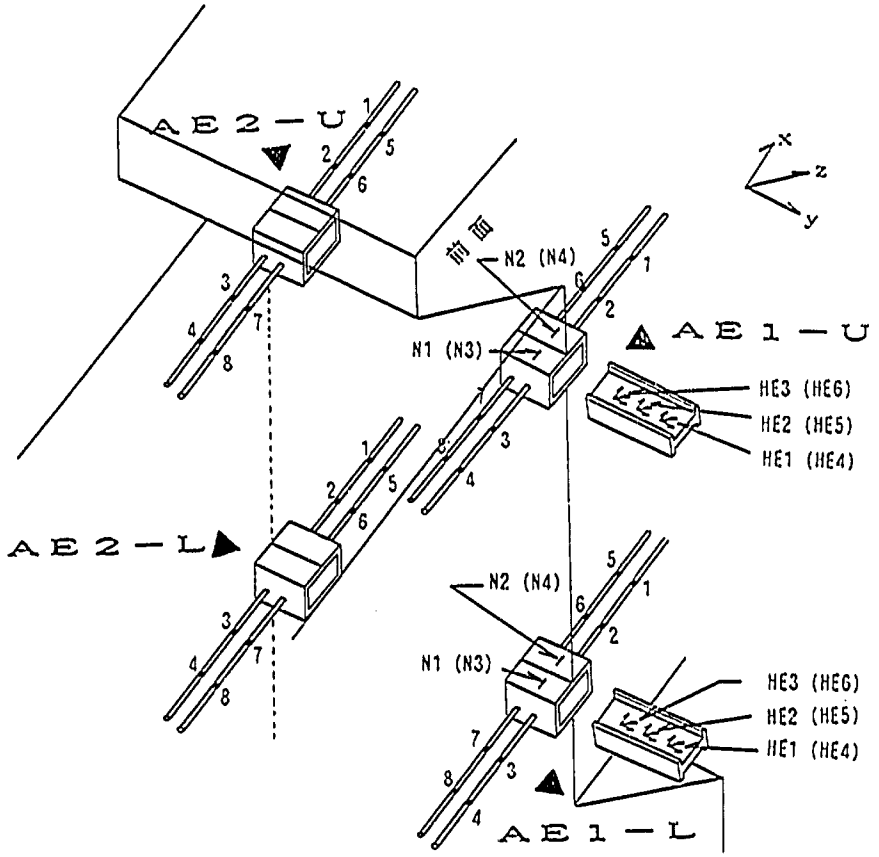
図－２．１．２９　鉄筋歪み測定位置図



継手なし供試体　　くさび接合継手供試体　　コンクリート接合継手供試体

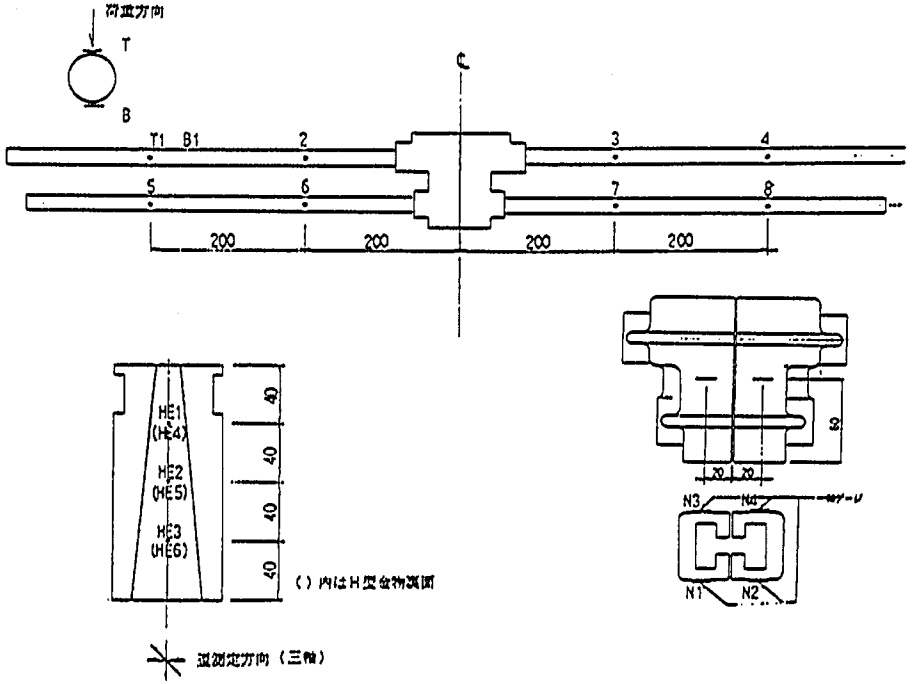
面内供試体

図－２．１．３０　コンクリート歪み測定位置図

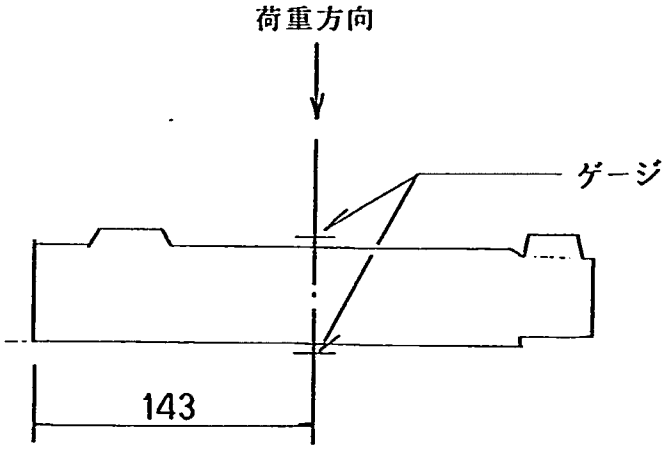


( ) : 下面

C　型 : AE1-U. L
H　型 : AE1-U. L
アンカー筋 : AE1-U. L　AE2-U. L



図－2．1．31　コッター、アンカー筋歪み測定位置図

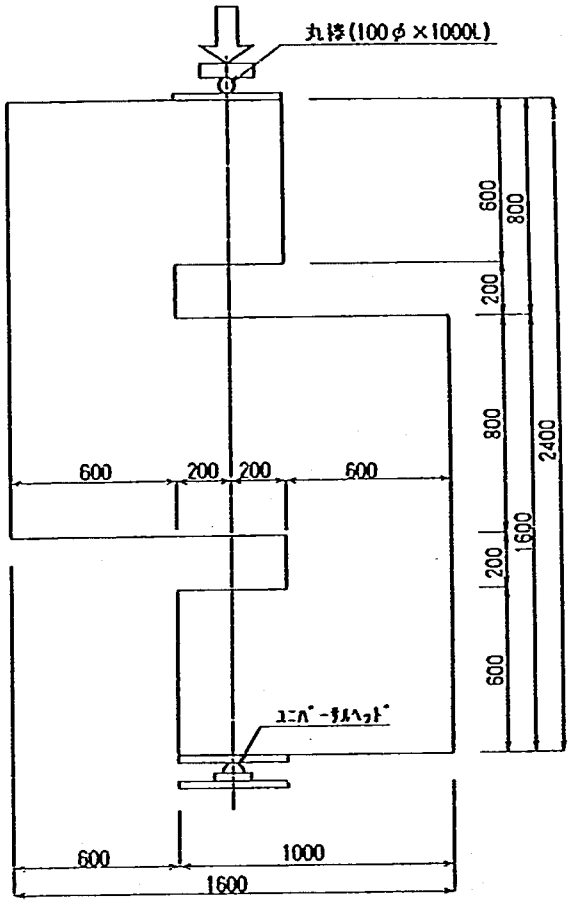


図－２．１．３２　スリーブ歪み測定位置図

(3) 継手面外せん断試験

1) 載荷方法

載荷は、図－２．１．３３に示す載荷装置により「単純せん断載荷」にて行なった。また、載荷パターンは、２ｔｆピッチ程度にて単調増加で載荷した。



図－２．１．３３　継手面外せん断試験載荷装置

2) 供試体の接合

接合は、(1)継手曲げ試験と同様の手順にて各継手とも接合した。コンクリート接合継手に使用した材料試験結果を、表－２．１．１５に示した。図他はすべて継手曲げ試験と同じである。

表－２．１．１５　コンクリート継手接合使用材料

用　途	商　品　名	メーカー	材　料　試　験
ブロック接合用 無収縮モルタル	ＭＣＲアーマ ＃５１０	三菱工業 セメント㈱	平均圧縮強度 ：σ＝ 591 (kgf/cm²)
ブロック接合用 接着剤	ＡＣ４０８	東邦 天然ガス㈱	平均曲げ強度 ：σ＝ 29.2(kgf/cm²)
鉄筋接合用グラウト(ｽﾘｰﾌﾟ充填用)	ＳＳモルタル	㈱スプライス スリーブ社	平均圧縮強度 ：σ＝ 779 (kgf/cm²)
箱抜き部充填用 無収縮モルタル	エコマＳ８８Ｃ	ポゾリス 物産㈱	平均圧縮強度 ：σ＝ 827 (kgf/cm²)

また、継手面外せん断試験に用いた供試体のコンクリート圧縮強度を表－2．1．16に示す。

表－2．1．16　供試体材料試験結果

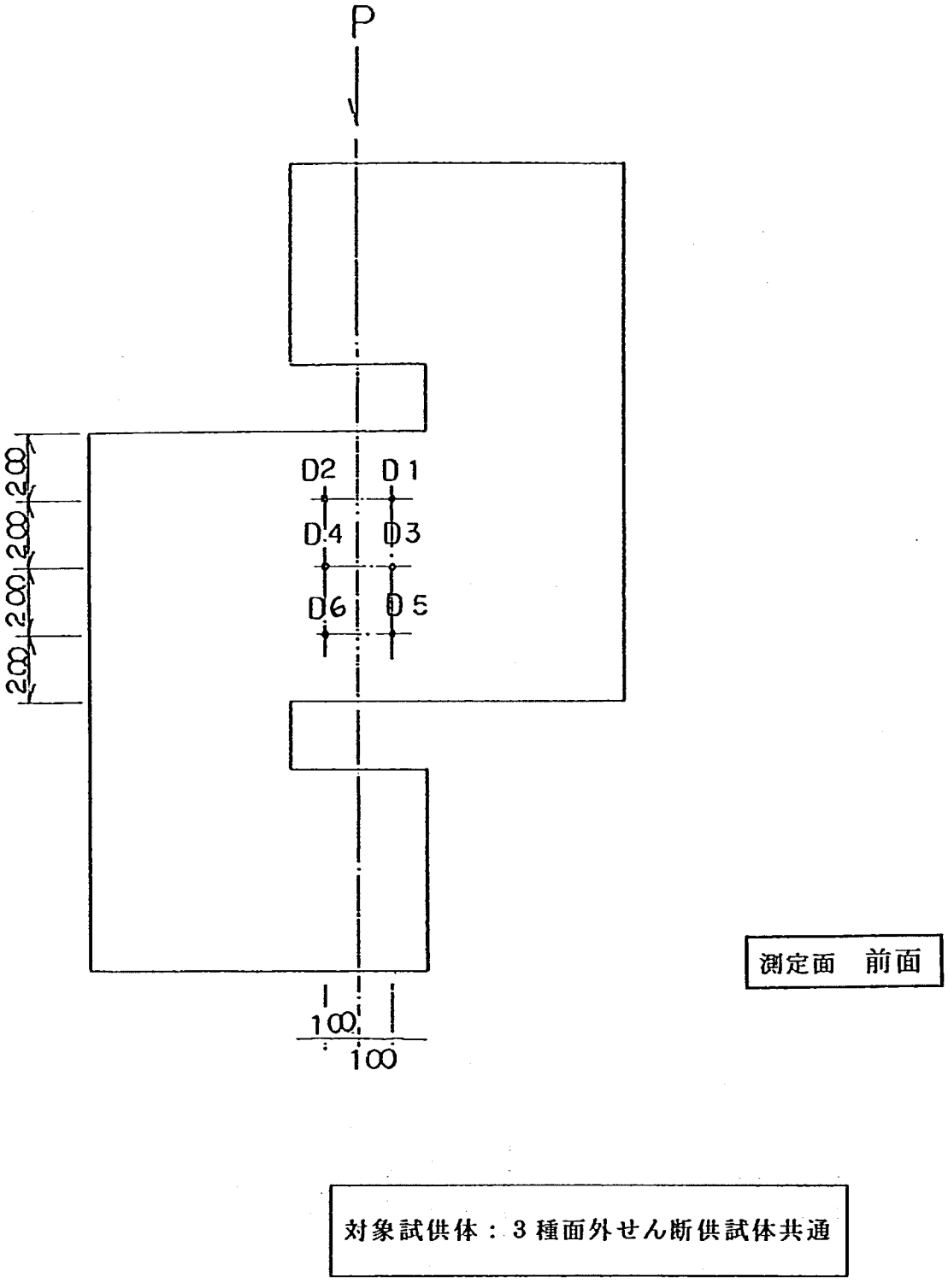
継手種類	継手なし	くさび接合継手	コンクリート接合継手	備　　考
本体コンクリート圧縮強度 :fc(kgf/cm²)	764	798 (L871, R724)	778 (L732, R823)	両継手供試体については左右ブロックの平均強度

3) 計測項目

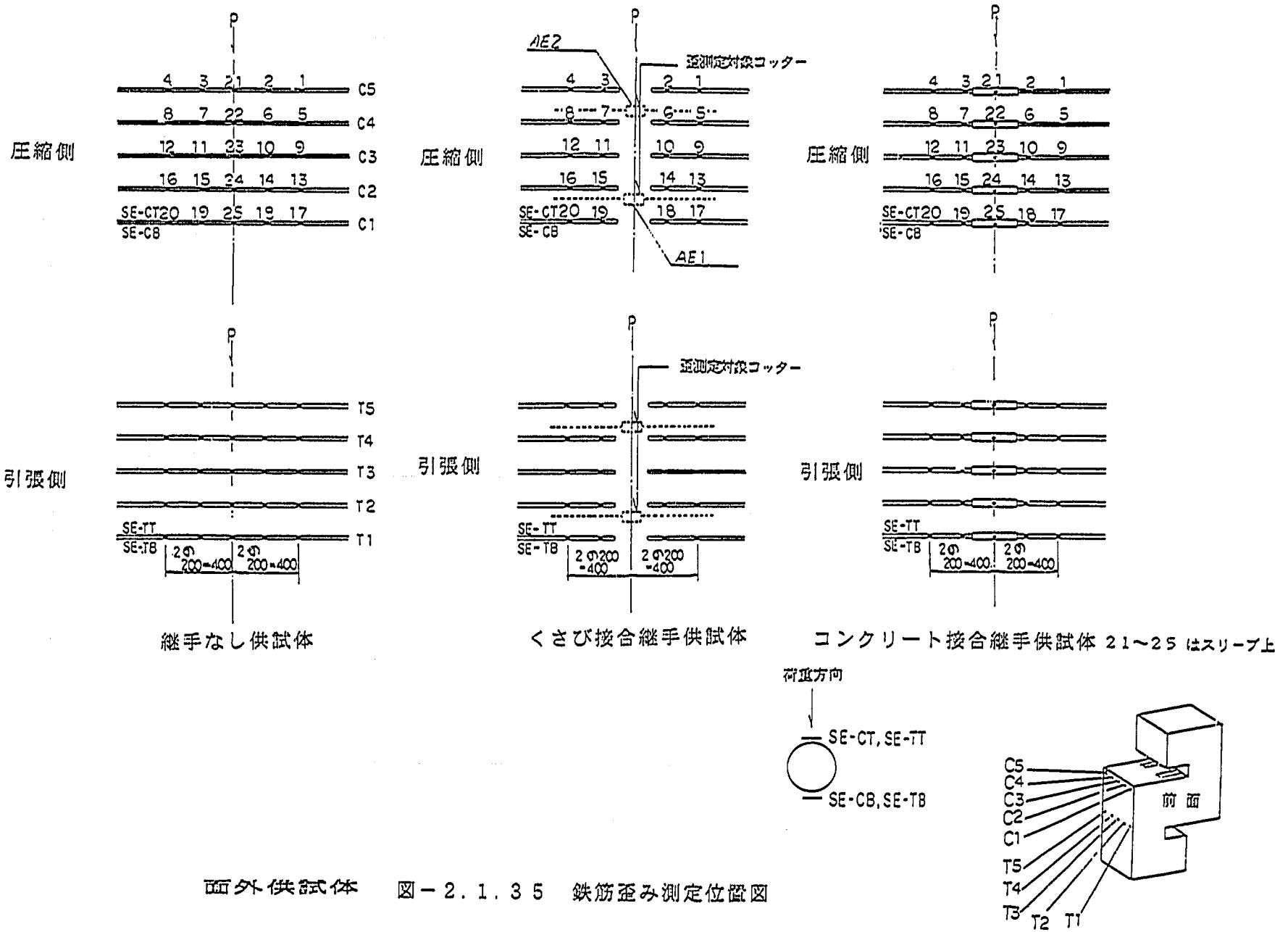
計測項目および計測方法は表－2．1．17の通りである。

表－2．1．17　計測項目および計測方法

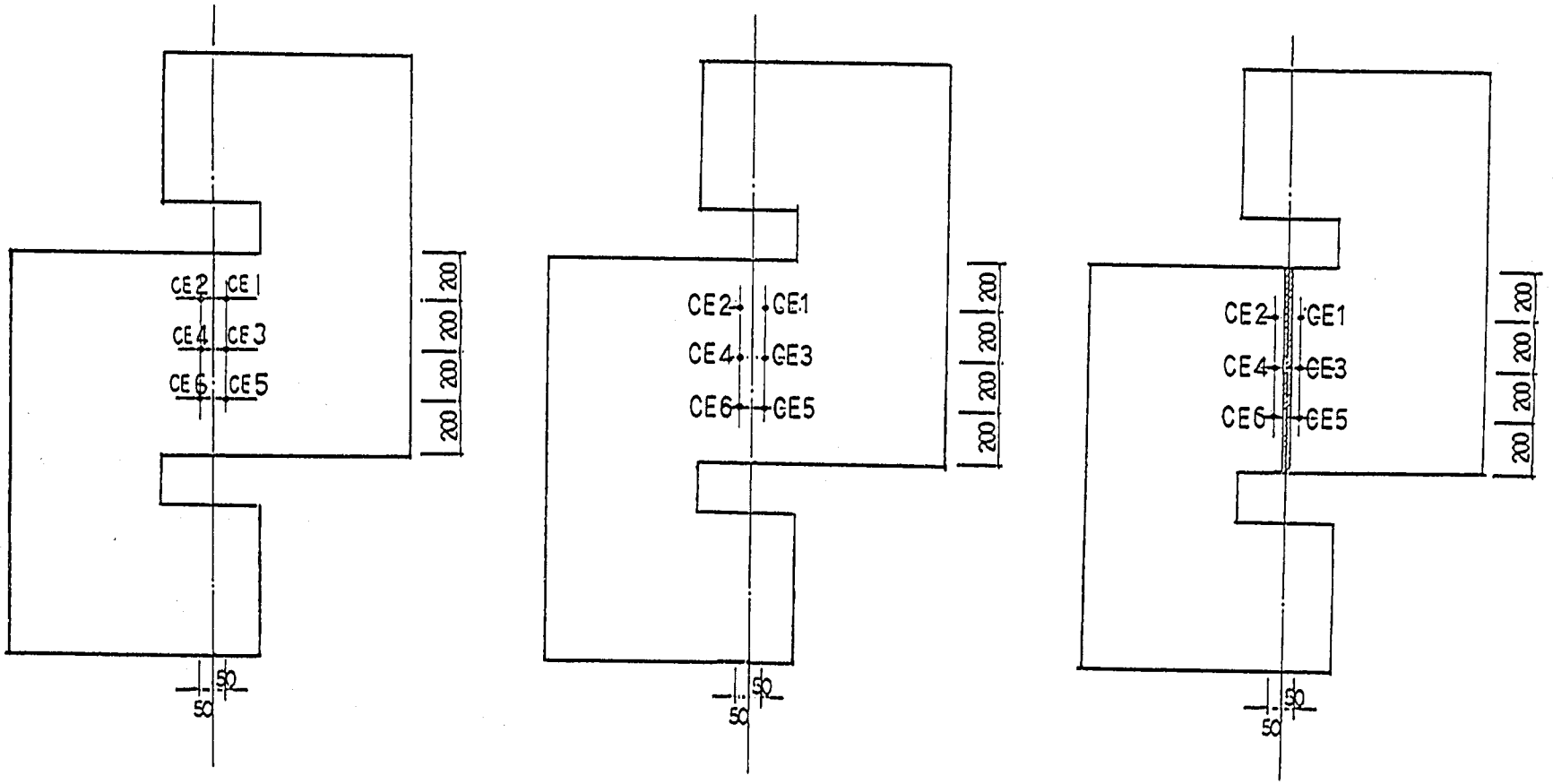
計測項目	継手なし	くさび接合継手	コンクリート接合継手	計　測　方　法	図　番
荷　　重	○	○	○	ロードセルによる	
供試体変位	○	○	○	変位計による	図－2.1.34
主鉄筋ひずみ	○	○	○	ひずみゲージによる	図－2.1.35
コンクリートひずみ	○	○	○	ひずみゲージによる	図－2.1.36
ひびわれ状況	○	○	○	目視、写真、ＶＴＲ等	
コンクリート強度／弾性係数	○	○	○	供試体打設時に作成する円柱供試体（３本）(JIS-A1108, A1132)	
主鉄筋強度／弾性係数	○	○	○	代表主鉄筋で実施 (JIS-Z2210, Z2241)	
くさびアンカー筋歪		○		ひずみゲージによる	図－2.1.37
くさび歪		○		ひずみゲージによる	図－2.1.37
くさび継手変形		○		目視、写真、ＶＴＲ等	
くさびアンカー筋強度／弾性係数		○		代表アンカー鉄筋で実施 (JIS-Z2210, Z2241)	
スリーブ歪			○	ひずみゲージによる	図－2.1.38



図－2．1．34　面外せん断試験時 変位測定位置図

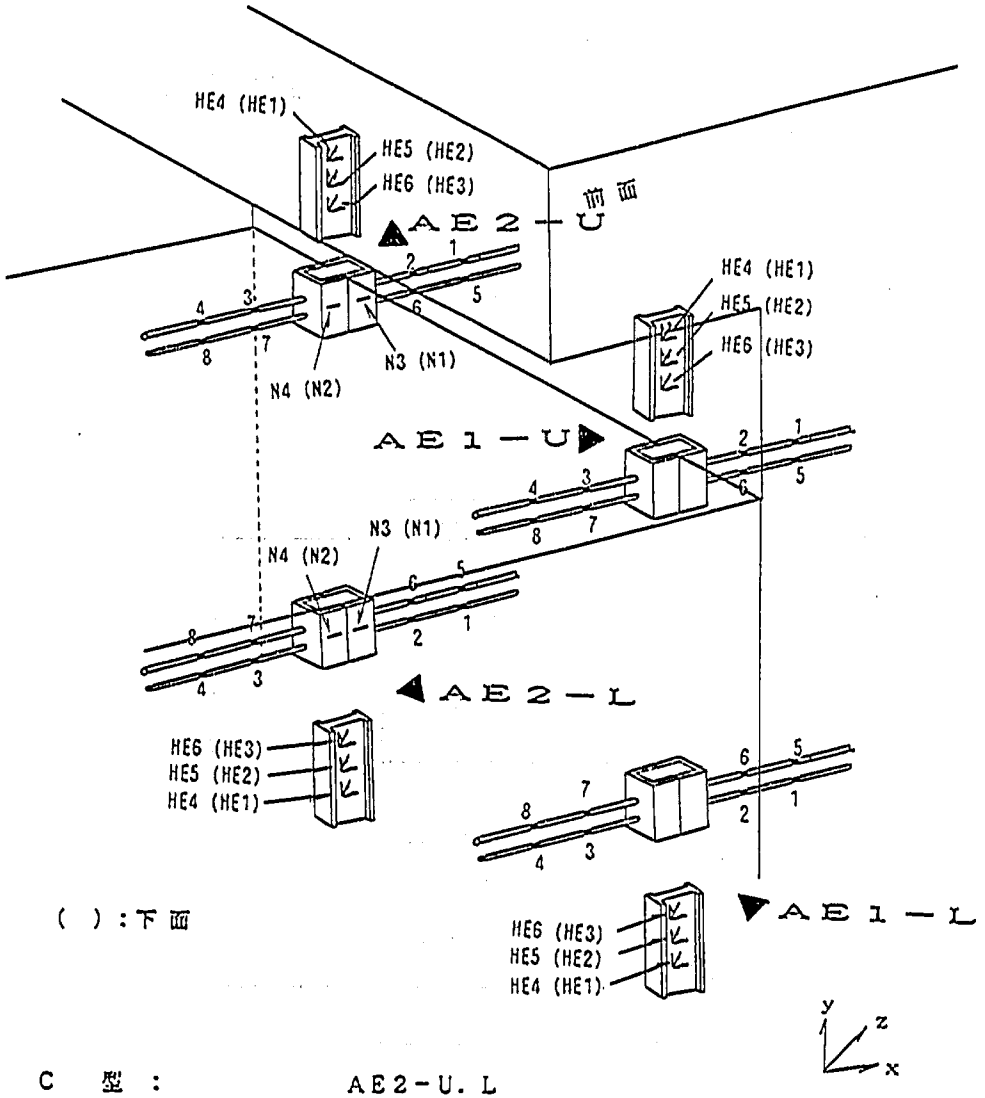


面外供試体　　図－2．1．35　鉄筋歪み測定位置図

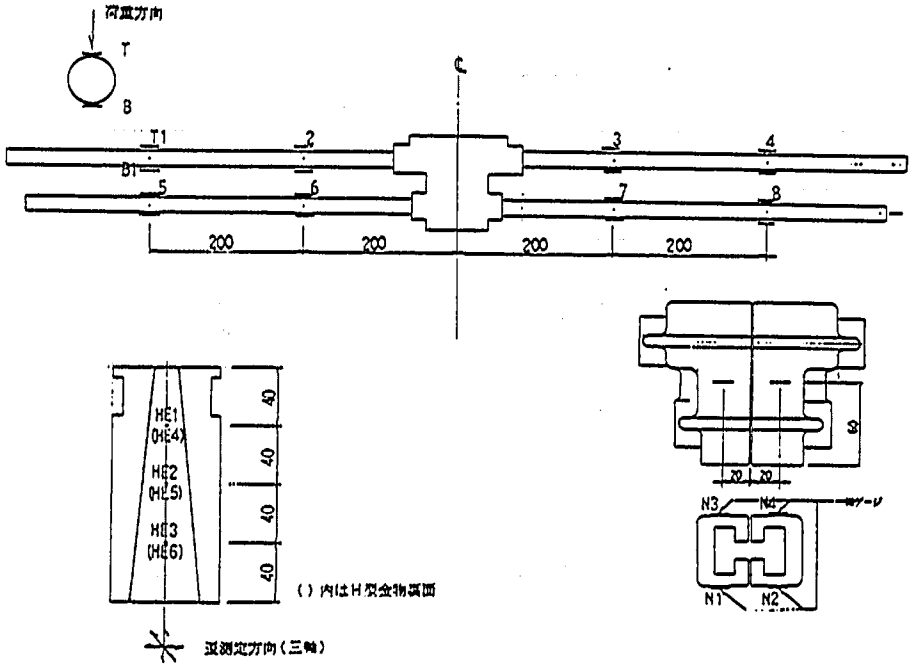


面外供試体

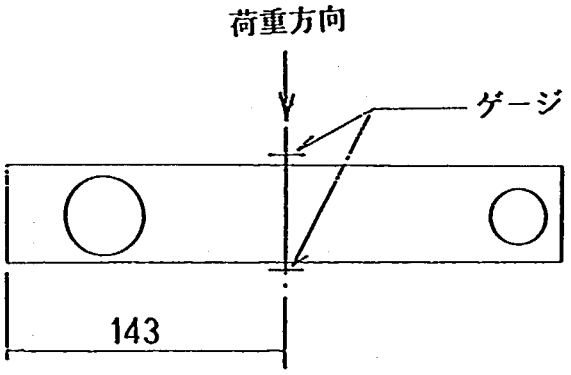
図－2．1．36　コンクリート歪み測定位置図



C　型　：　　AE2－U. L
H　型　：AE1－U. L　AE2－U. L
アンカー筋：AE1－U. L　AE2－U. L



図－2．1．37　コッター、アンカー筋歪み測定位置図



図－２．１．３８　スリーブ歪み測定位置図

2．2　実験結果および考察

2．2．1　継手曲げ試験

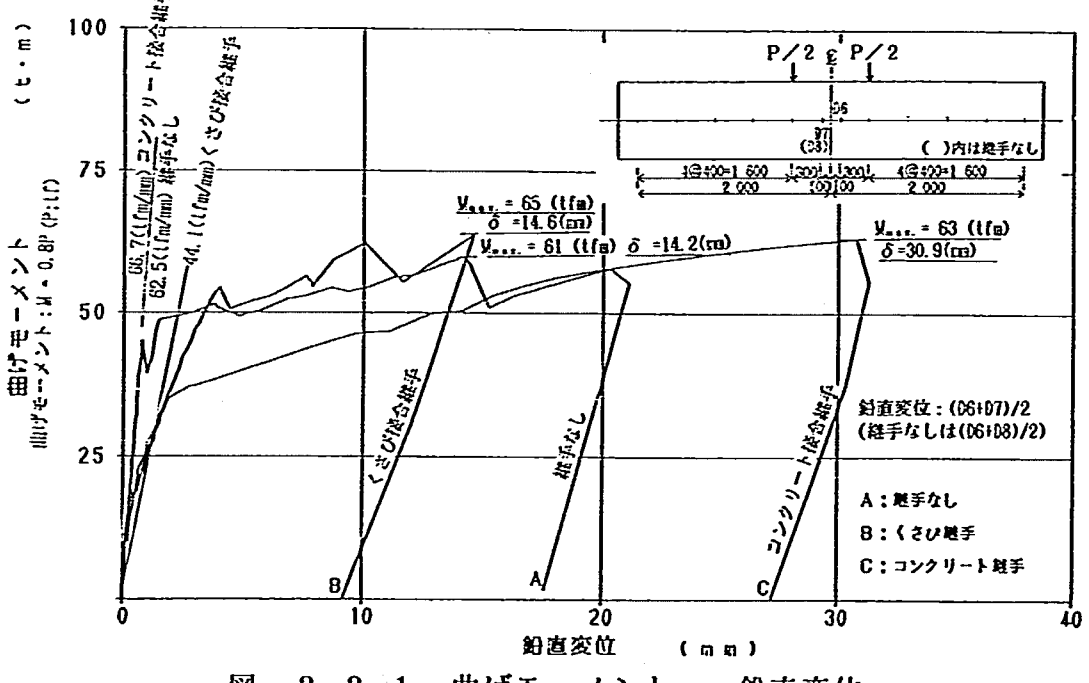
(1) 試験結果

試験の結果を一覧表にして、表－2．2．1に示した。

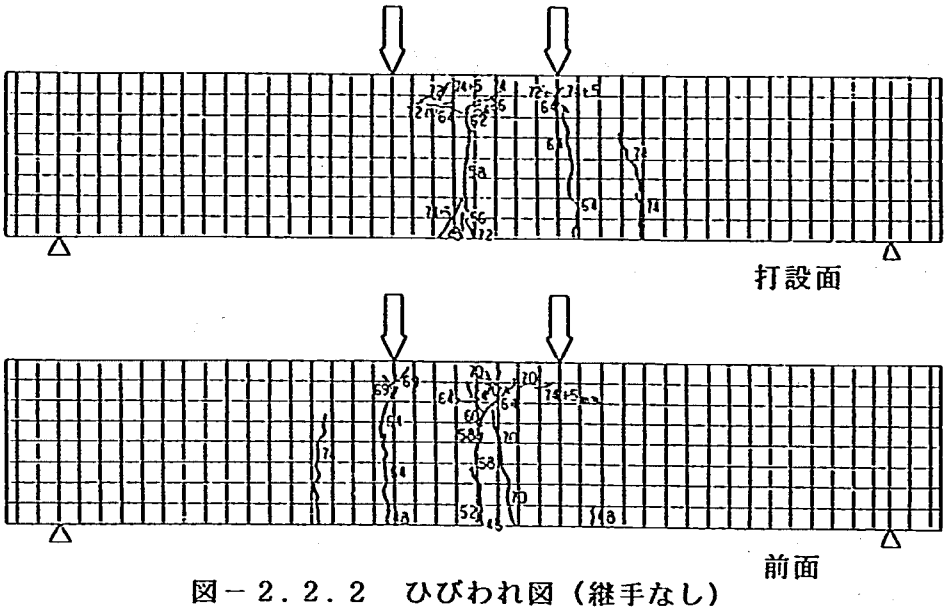
表－2．2．1　継手曲げ試験結果一覧表

継手種類	継手なし (Case NB-1)	くさび接合継手 (Case CB-4)	ｺﾝｸﾘｰﾄ接合継手 (Case CB-7)	備考
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ圧縮強度 f_c (kgf/cm²)	718	781 (L811, R750)	704 (L811, R750)	両継手供試体については左右ﾌﾞﾛｯｸの平均強度
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ割線弾性係数 Ec (kgf/cm²)	3.93×10⁵	3.61×10⁵	3.70×10⁵	両継手供試体については左右ﾌﾞﾛｯｸの平均
最大荷重 P (tf) 曲げﾓｰﾒﾝﾄ M(tfm)	76．1 (60.9)	81．6 (65.3)	79．0 (63.2)	自重による曲げﾓｰﾒﾝﾄは考慮していない
最大荷重時の中央点鉛直変位 δ(mm)	14．2	14．6	30．9	両継手供試体についてはD6とD7の平均
継手部回転バネ定数 Kθ (tfm/rad.)	—	3.56×10⁴	1.70×10⁵	継手なしの許容曲げﾓｰﾒﾝﾄ (Mra=15.3 tfm) ける目開き角より計算
最終破壊ﾓｰﾄﾞ	引張鉄筋破断	ｱﾝｶｰ筋終端近傍の一般鉄筋降伏	ｽﾘｰﾌﾞ近傍鉄筋の降伏	

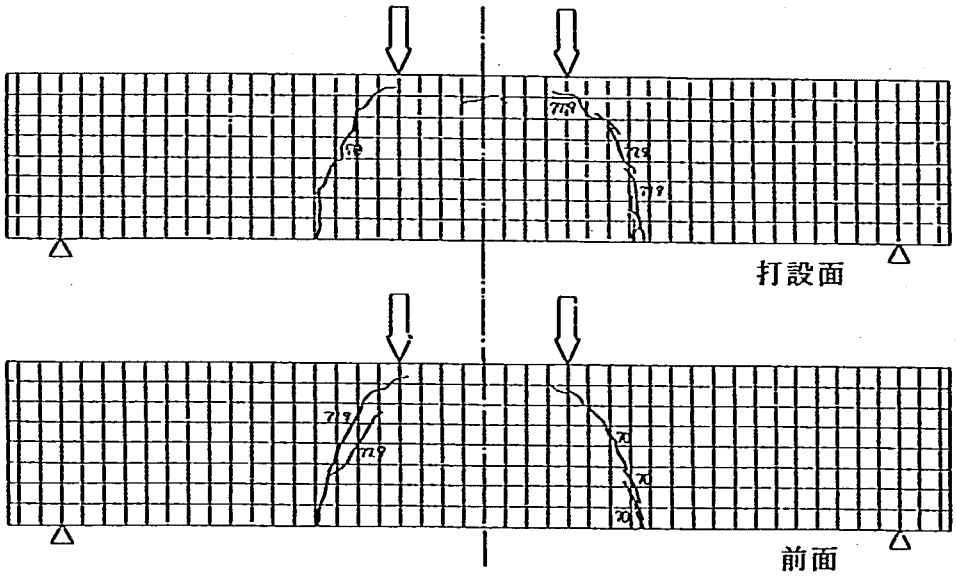
また、曲げモーメント～鉛直変位図、ひびわれ図をそれぞれ図－2．2．1～図－2．2．4に示す。



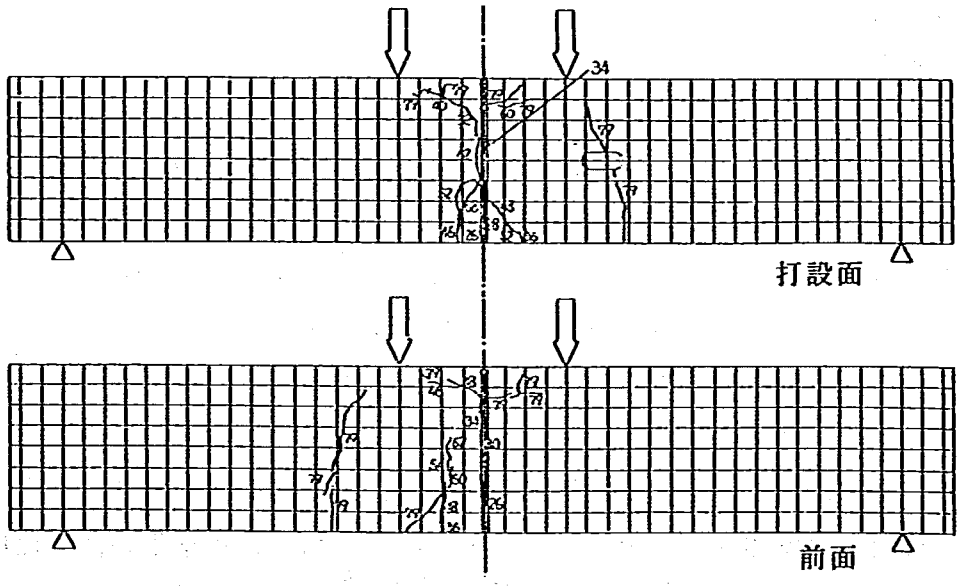
図－2．2．1　曲げモーメント ～ 鉛直変位



図－２．２．２　ひびわれ図（継手なし）



図－２．２．３　ひびわれ図（くさび接合継手）



図－２．２．４　ひびわれ図（コンクリート接合継手）

図－２．２．１は、継手なしも含め３種類の試験での曲げモーメント～鉛直変位関係を１枚のグラフにまとめたものである。曲線初期勾配(44.1～66.7tfm/mm)は、継手なし供試体の許容抵抗曲げモーメント(Mra=15.3tfm) に対する梁中央変位の変化率である。許容レベルが実験で得られた曲げ耐力の１／３以下であるため、３曲線とも比較的高い曲げ剛性を有している。特に、コンクリート接合継手は、継手なしのそれを上回っており、継手の剛性確保の有効性が確認できる。くさび接合継手は他の２試験体に比してその剛性がやや劣る傾向にあるが、顕著な変曲点以降はほぼ同等な変形傾度にて破壊に至っており、終局曲げ耐力は三者ともM＝60(tfm) 付近であった。変曲点曲げモーメントは、コンクリート接合継手がM＝36(tfm) 付近であり、他の２供試体のM＝50(tfm) 付近の比して、やや低い傾向を示した。

終局時の変形量は、コンクリート接合継手で30mmで、くさび接合継手や継手なしの15mm～20mmに比して粘り強さを示す結果を得ている。

以下に各継手に関する考察を加える。

1) 継手なし試験体

梁上面に設けたコンクリートゲージ歪の進展が線形的に推移している状況より判断しても、試験が良好な状態で試験がなされたと考えられる。ただ、鉄筋歪の推移にばらつきが認められ、図－２．２．２のひびわれ図よりも明らかなように供試体前面中心より左側に曲げクラックが集中した形になっている。

材料試験結果に基づいた終局曲げ耐力の算定結果では、

Ｍｕ＝４７．３ (tfm) ・・・・・・・・・・・・ 単鉄筋計算

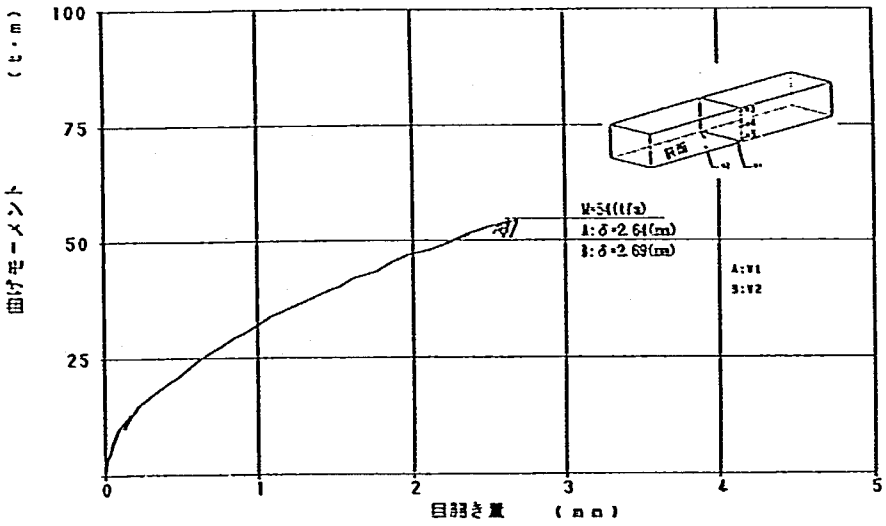
Ｍｕ＝５４．２ (tfm) ・・・・・・・・・・・・ 複鉄筋計算

が得られており、図－２．２．１のグラフより評価すれば、良好な結果であったと考えられる。

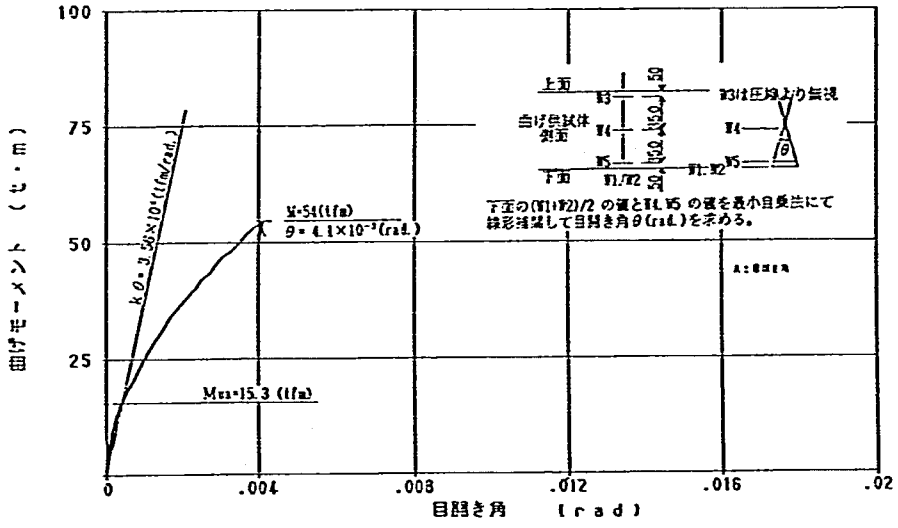
2) くさび接合継手

図－２．２．５および図－２．２．６にそれぞれ、曲げモーメント～目開き量および目開き角の関係を示す。継手なし供試体の許容抵抗曲げモーメントMra=15.3(tfm)での目開き角θは、4.3 $\times 10^{-4}$(rad.)であり、これよりくさび接合継手のm当たりの回転バネ定数kθは、3.56$\times 10^{4}$(tfm/rad.) と計算される。図－２．２．７に曲げモーメント～Ｈ型金具軸力関係図を示す。

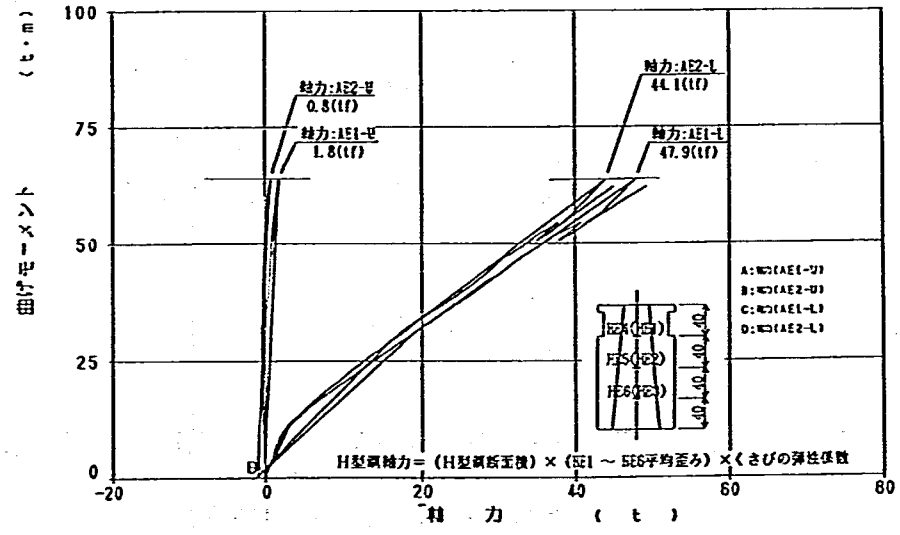
引張側Ｈ型金具（下面）の引張力は、Ｈ型くさびの引張ひずみより換算すると終局時継手２個の合計値でP=90(tf)程になり、計算値とほぼ同等の値を示している。一方、クラック図で確認できるように、当継手の最終曲げ耐力は、アンカー筋終端部の躯体鉄筋部の鉄筋降伏に起因しており、本継手の曲げ抵抗モーメントは、比較的単純な単鉄筋計算理論で評価可能であると考えられる。



図－２．２．５　曲げモーメント ～ 目開き量



図－２．２．６　曲げモーメント ～ 目開き角

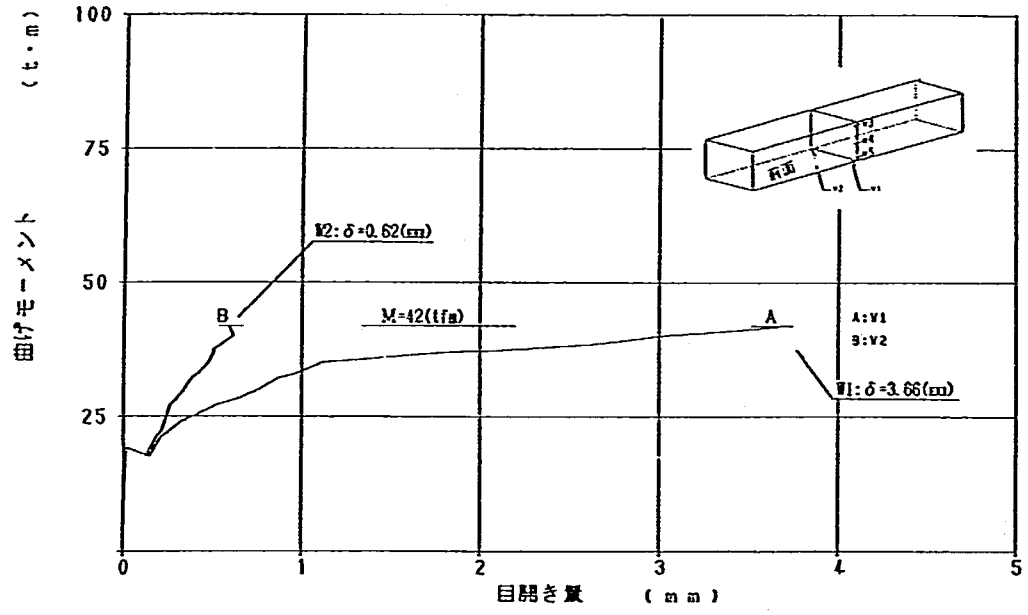


図－２．２．７　曲げモーメント ～ Ｈ型金具軸力

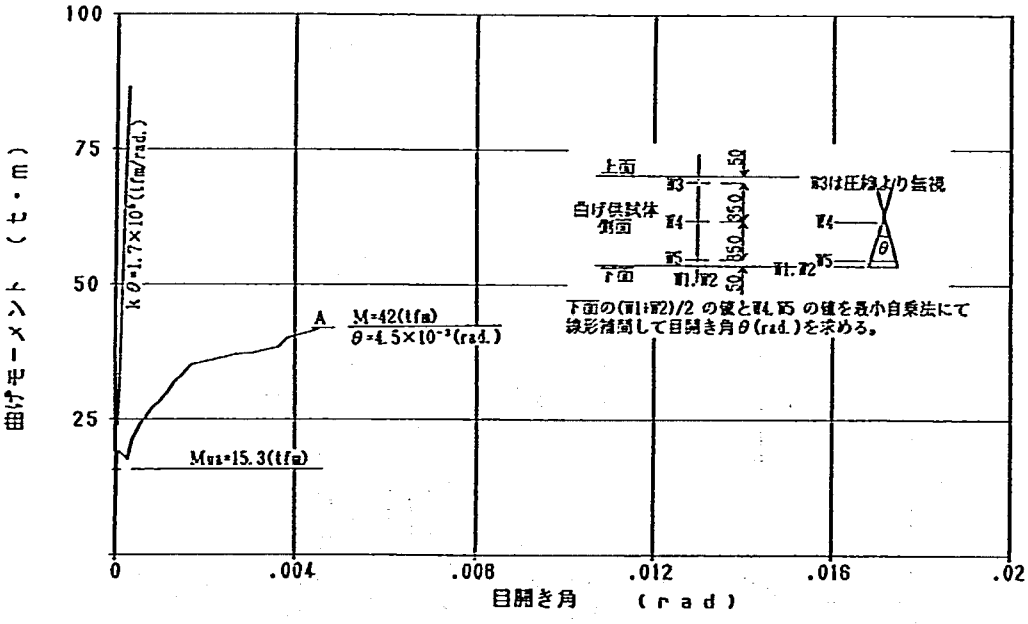
3) コンクリート接合継手

図－２．２．８および図－２．２．９にそれぞれ曲げモーメント～目開き量および目開き角の関係を示す。図－２．２．４に示したクラック図でも明らかなように、P=26(tf)（M=20.8(tfm)）前後で、前面底部の接合部モルタルにクラックの発生が確認されており、それらは明らかな曲げ剛性の変曲点となっていることが図－２．２．１０に示した引張側スリーブ歪に顕著に表れている。

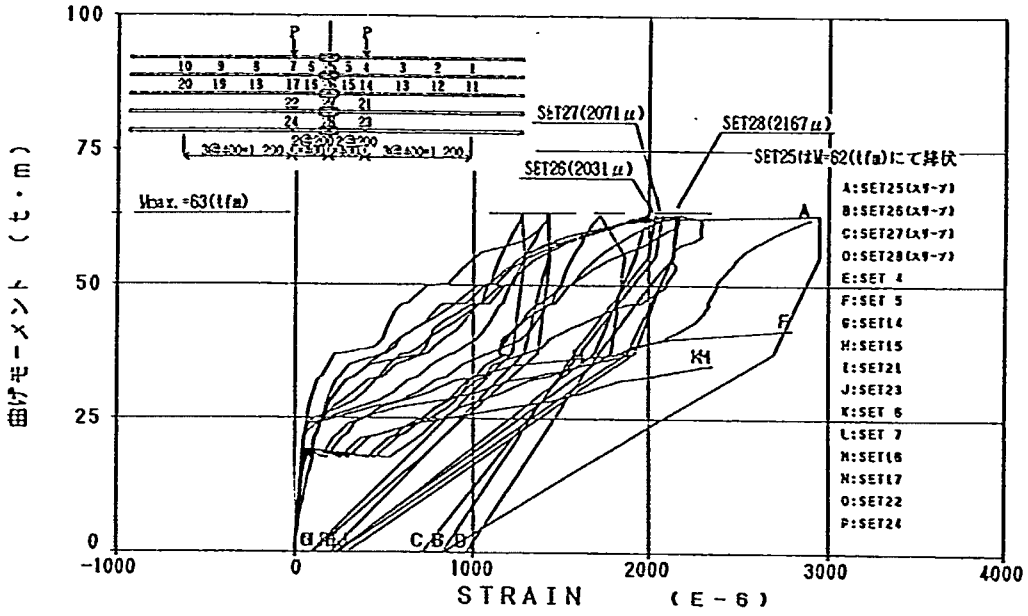
目開き角より算定される継手部の回転バネ定数は、$k\theta = 1.7\times10^{5}$(tfm/rad.)と比較的大きな値を得ている。



図－２．２．８　曲げモーメント ～ 目開き量



図－２．２．９　曲げモーメント ～ 目開き角



図－２．２．１０　曲げモーメント ～ スリーブ歪（引張側）

(2) 曲げモードに対する継手特性の評価

1) 継手曲げ耐力

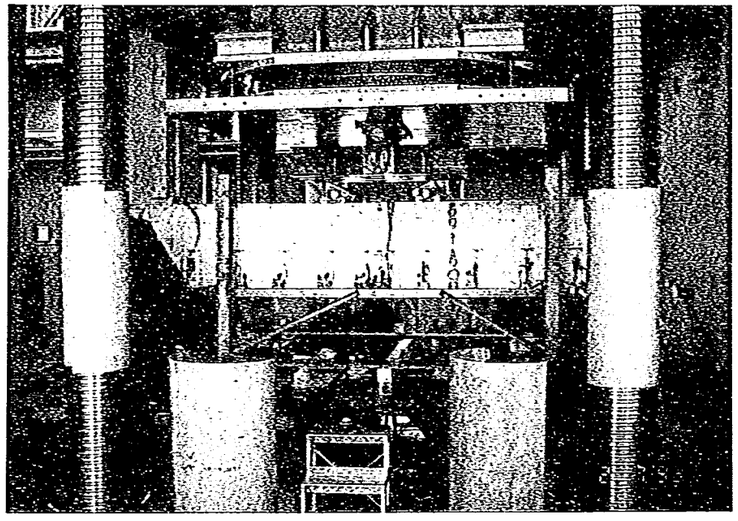
継手強度に関しては、両継手とも許容抵抗曲げモーメント時・終局耐力時において、継手なし供試体との有意な差異を認めることはできない。また継手の曲げ抵抗機構の解明については解決すべき課題を残すものの、既往のＲＣ計算理論に類似する手法で表現可能な部分もある。

2) 継手曲げ剛性

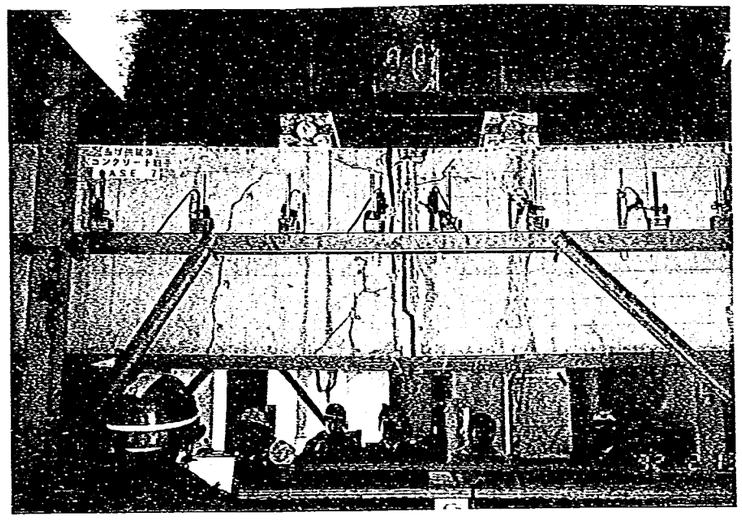
くさび接合継手においては初期段階における曲げ剛性が、他の２供試体に比較して約２／３程度を示している。これは許容応力状態におけるたわみ変形が、他の１．５倍になることを意味する。ただ、許容時の絶対変位量が０．３㎜のレベルであることを考えれば、構造物の挙動として実際上問題となることは少ないと考えられる。

またコンクリート接合継手に関しては、ブロック接合モルタル，同接着材部の引張クラック発生後の曲げ剛性低下がみられるが、粘り強さが認められる。

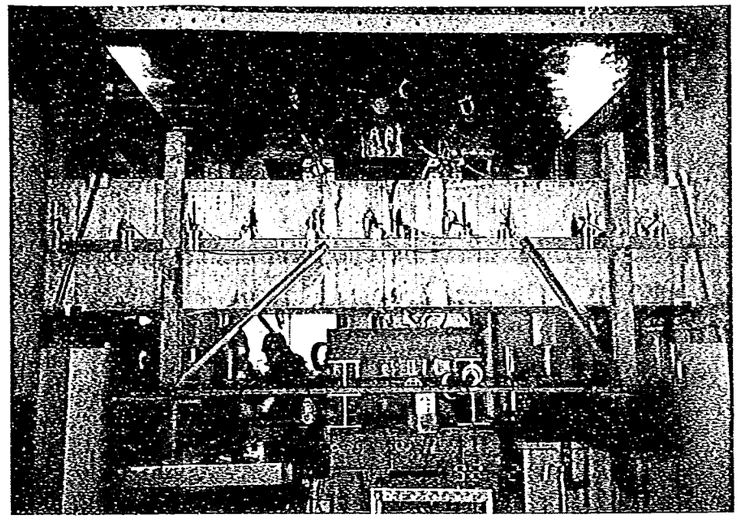
曲げ試験　状況写真



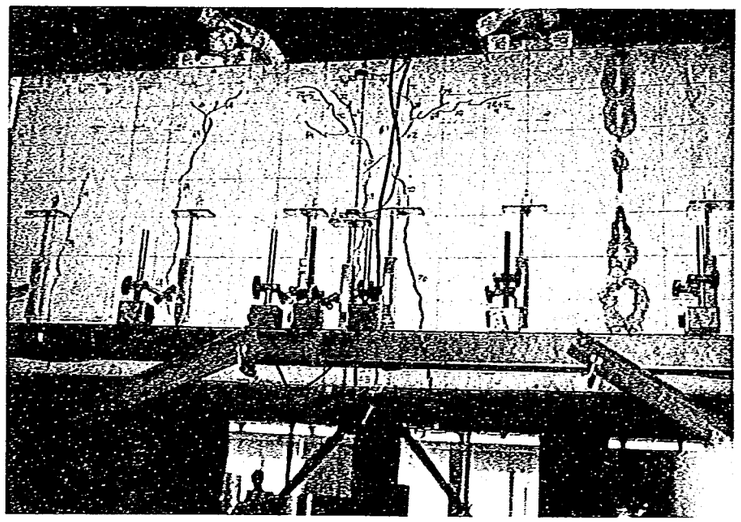
写真－２．２．１　継手なし供試体載荷状況



写真－２．２．３　コンクリート継手供試体載荷状況



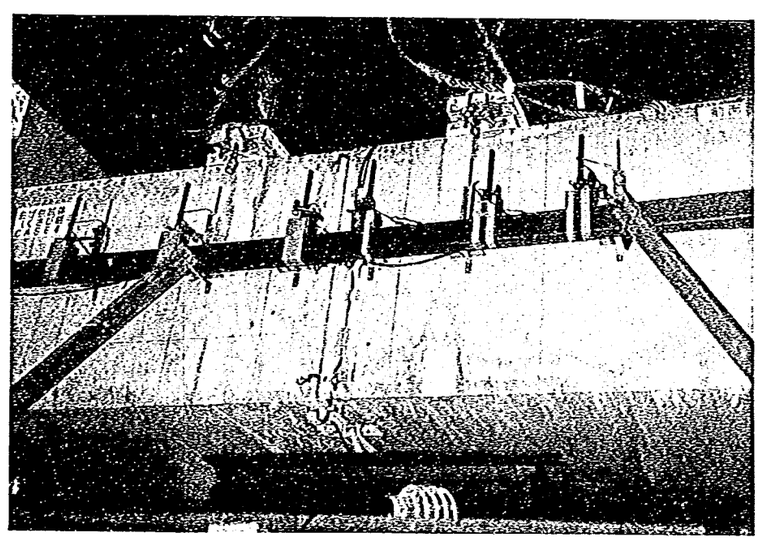
写真－２．２．５　くさび継手供試体載荷状況



写真－２．２．２　継手なし供試体ひび割れ状況



写真－２．２．４　コンクリート継手供試体ひび割れ状況



写真－２．２．６　くさび継手配置位置

２．２．２　継手面内せん断試験

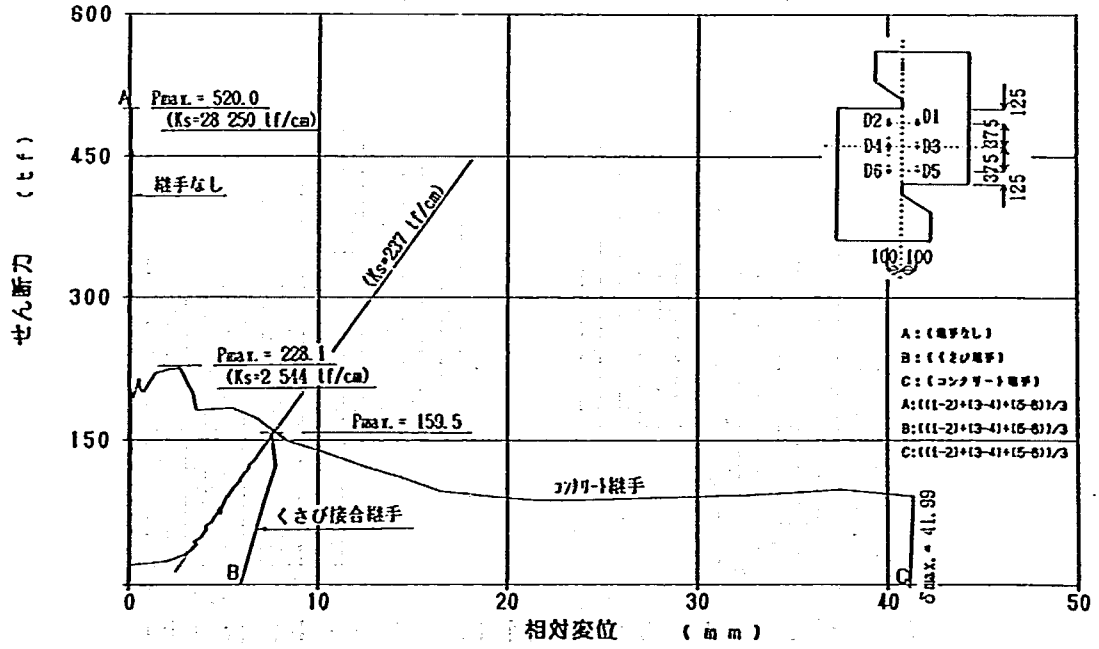
(1) 試験結果

試験の結果を一覧表にして、表－２．２．２に示した。

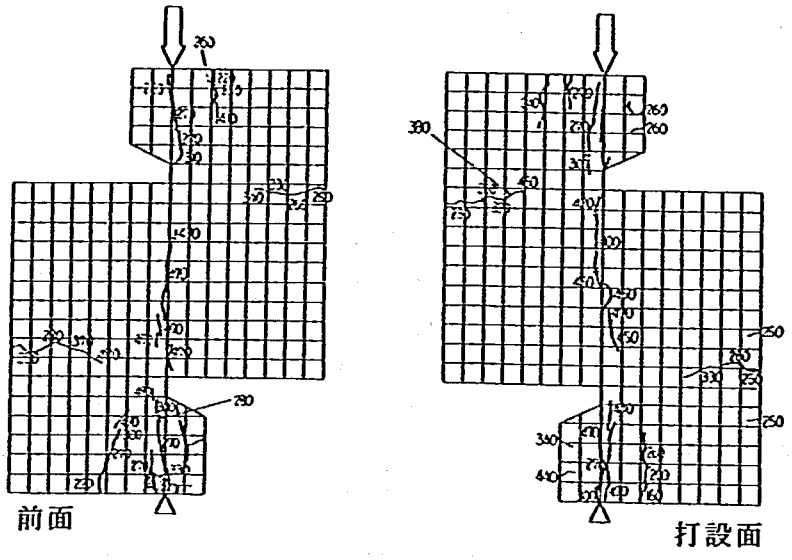
表－２．２．２　継手面内せん断試験結果一覧表

継手種類	継手なし (Case NS-3)	くさび接合継手 (Case CS-6)	ｺﾝｸﾘｰﾄ接合継手 (Case CS-9)	備考
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ圧縮強度 : f_c (kgf/cm²)	７７３	７５０ (L715, R785)	７６９ (L721, R817)	両継手供試体については左右ﾌﾞﾛｯｸの平均強度
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ引張強度 : f_t (kgf/cm²)	４２．１	４１．３	４２．０	$f_t = 0.5(f_c)^{2/3}$ ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ割線弾性係数 :Ec (kgf/cm²)	3.90×10⁵	3.54×10⁵	3.78×10⁵	両継手供試体については左右ﾌﾞﾛｯｸの平均
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ剪断弾性係数 :Gc (kgf/cm²)	1.67×10⁵	1.52×10⁵	1.62×10⁵	Gc= Ec / 2(1+ν) 弾性論式
最大荷重 :P (tf)	５２０	１５６ (159.5)	２２６ (228.1)	( ) 内は実験時ﾓﾆﾀｰで確認したピーク値
最大荷重時の中央点相対変位 :δ(mm)	１．０	７．６ (7.72)	２．７ (2.28)	( ) 内は実験時ﾓﾆﾀｰで確認したピーク時変位
継手部せん断バネ定数 : Ks (tf/cm)	1.9×10⁴	1.1×10²	3.1×10³	許容せん断力(=39.6t)時のせん断変形値より逆算したバネ定数
継手部せん断バネ定数 : Ks' (tf/cm)	∞	2.4×10²	∞	初期すべりを考慮せず一定傾斜時のバネ定数を採用した
最終破壊モード	支承部の圧壊	H型金具のせん断破壊	ｽﾘｰﾌﾞの破断	

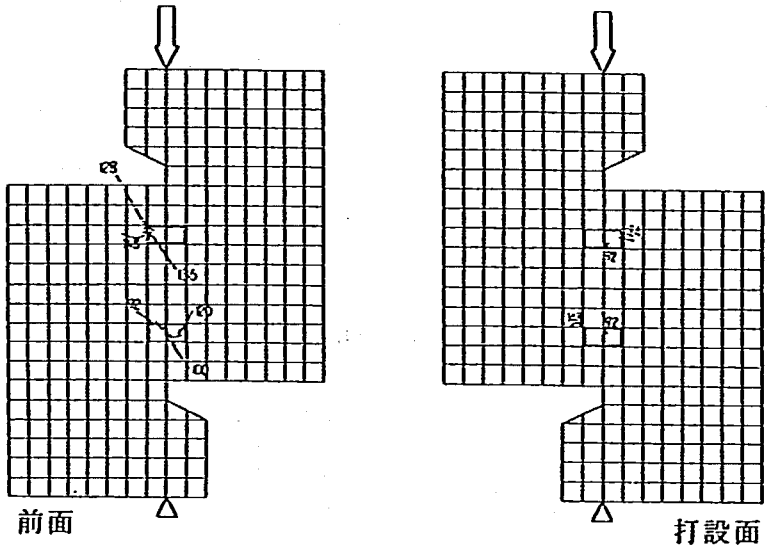
また、せん断力～鉛直変位図、ひびわれ図をそれぞれ図－２．２．１１～図－２．２．１４に示す。



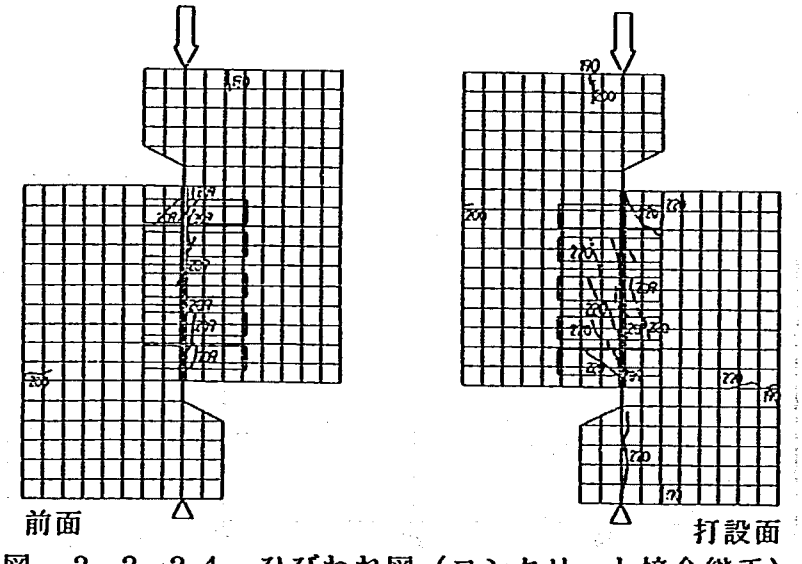
図－２．２．１１　せん断力 ～ 鉛直変位



図－２．２．１２　ひびわれ図（継手なし）



図－２．２．１３　ひびわれ図（くさび接合継手）



図－２．２．２４　ひびわれ図（コンクリート接合継手）

図－２．２．１１は、継手なしも含め３種類の試験でのせん断力～相対変位関係を１枚のグラフにまとめたものである。三者それぞれに独特の変位挙動を示しており、耐荷機構の違いを示唆するものであることが認識できる。三者比較においては、強度・剛性ともに異なった特性を示し、くさび接合継手については、初期すべりに伴う剛性の低下が特に顕著である。

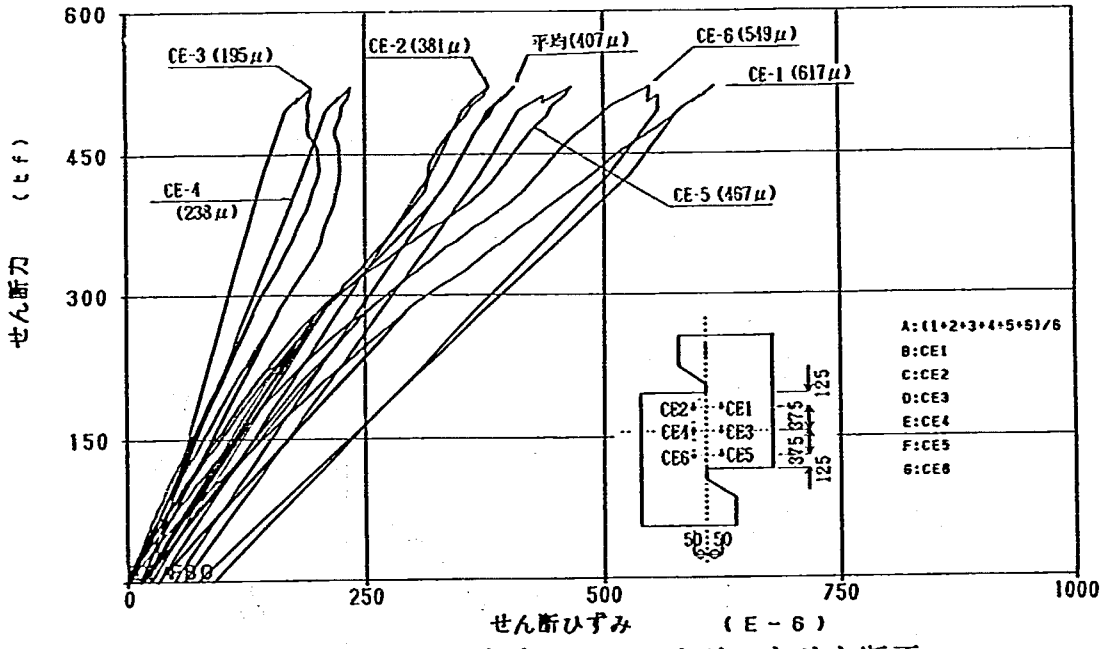
以下に各継手に関する考察を加える。

1) 継手なし試験体

継手なし供試体の最終破壊モードは、下部支承部のせん断破壊であったことより、期待せん断面での破壊挙動が正確には確認されていない。しかしながら、せん断面でのせん断伝達が、コンクリート単体によってのみ行われているものではなく、面内に配置された鉄筋が何らかの形でせん断補強筋として抵抗していることがうかがえる。

図－２．２．１５および図－２．２．１６にそれぞれ、せん断力～コンクリートせん断歪，鉄筋歪の関係図を示した。鉄筋の曲げ成分の進展が見られないことより、鉄筋のせん断耐荷寄与は引張り材として抵抗していることが確認される。このことは、一般に考えられる鉄筋のダウエル作用より、コンクリート骨材のインターロック作用効果の補強鉄筋としての作用が卓越していると考えられる。

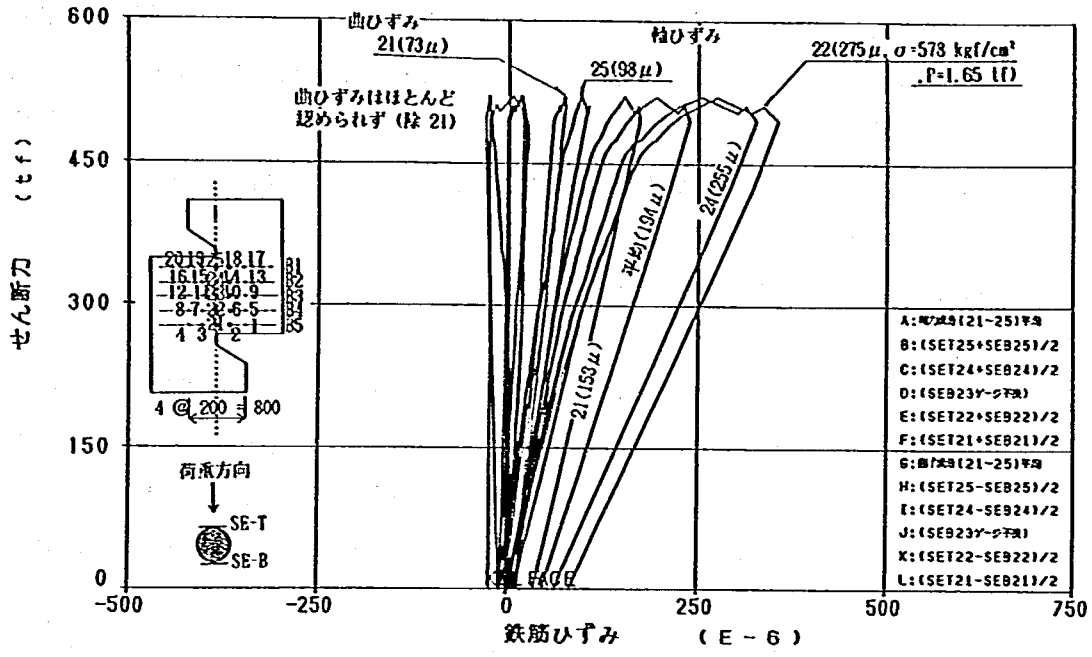
これは、既往の研究報告[1)]などにも示唆されているところである。



図－２．２．１５　せん断力 ～ コンクリートせん断歪

1)山 田、青 柳：「鉄筋コンクリートのせん断伝達機構について」
土木学会第33回年次学術講演会概要集　V-145 pp285～PP286

2)鯨井、我孫子他：「鉄筋コンクリートフーチングと鋼管の接合方法に関する研究」（その４）－せん断耐力に関する一考察－
土木学会第38回年次学術講演会概要集　V-172 pp341～PP342

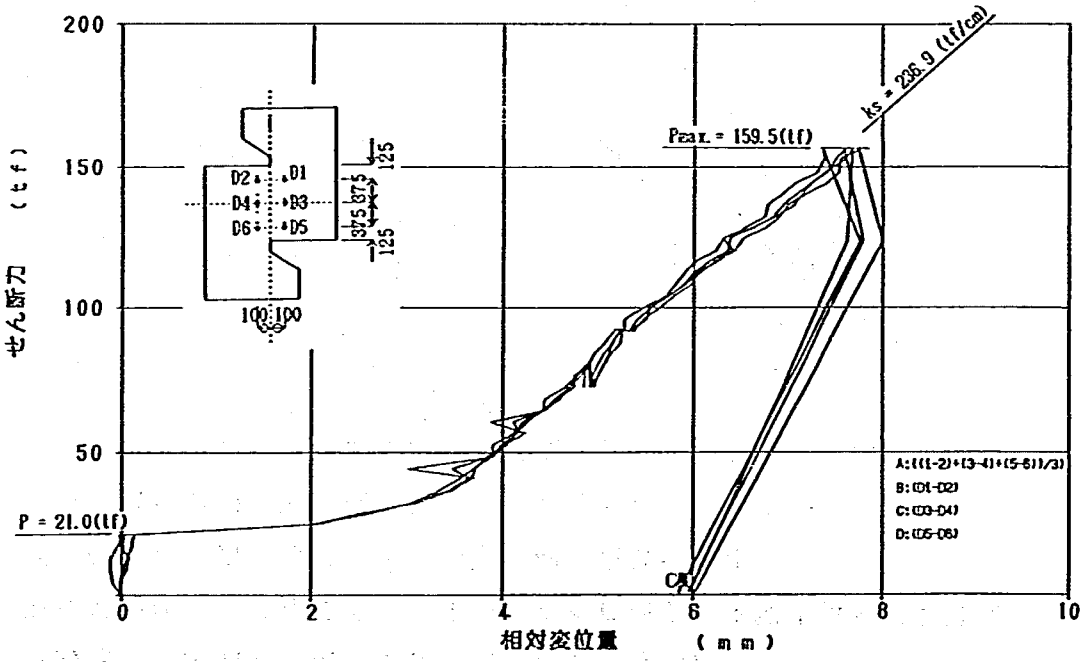


図－２．２．１６　せん断力 ～ 鉄筋歪

2) くさび接合継手

図－２．２．１７にくさび接合継手のみのせん断力～相対変位関係を示す。図よりも明らかなように、せん断力 :S=20(tf)前後で顕著なすべりが確認されており、4 mm程のすべり変形後、ようやく一定の変位傾度(240tf/cm)で上昇し、最大荷重 :P=159(tf)でH金具のせん断破壊をみている。

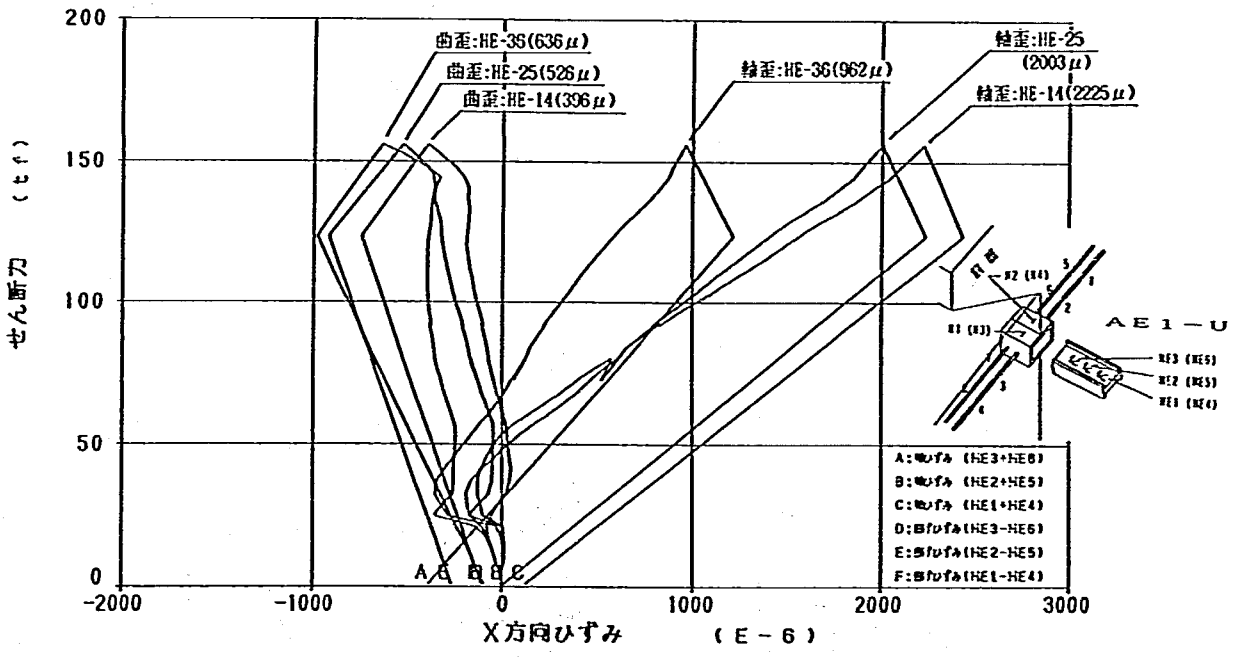
初期段階におけるすべり現象は、H金具とC金具のあそびが 4mm前後存在する継手構造そのものに起因しており、継手そのものの構造改良や中詰めなどの対処を行うことにより、ある程度の改良が可能なものと思われる。



図－２．２．１７　せん断力 ～ 相対変位

一方せん断伝達機構については、継手なし試験体とは明らかに異る傾向を示している。継手なし試験体は、コンクリート表面に達する顕著なせん断歪の進展を確認できたが、くさび接合継手の場合は、くさび金具（C型、H型）やくさびアンカー筋などの供試体内部の鋼材にしか歪進展の傾向が現れていない。このことは、図－２．２．１３に示すコンクリート表面に、顕著なクラックとして表れていない事実よりも裏付けられ、HおよびC型金具とそれを定着させるくさびアンカー筋がせん断伝達の主部材であることを示している。

図－２．２．１８～図－２．３．２０にそれぞれ、せん断力～H型金具歪，C型金具歪およびアンカー筋歪の関係を示した。H型金具歪は、軸歪成分，曲げ歪成分ともに顕著な伸びを見せており、軸方向力とせん断力作用位置のずれによる曲げモーメントの発生が確認でき、曲げとせん断が同時に作用する部材であることが推測できる。

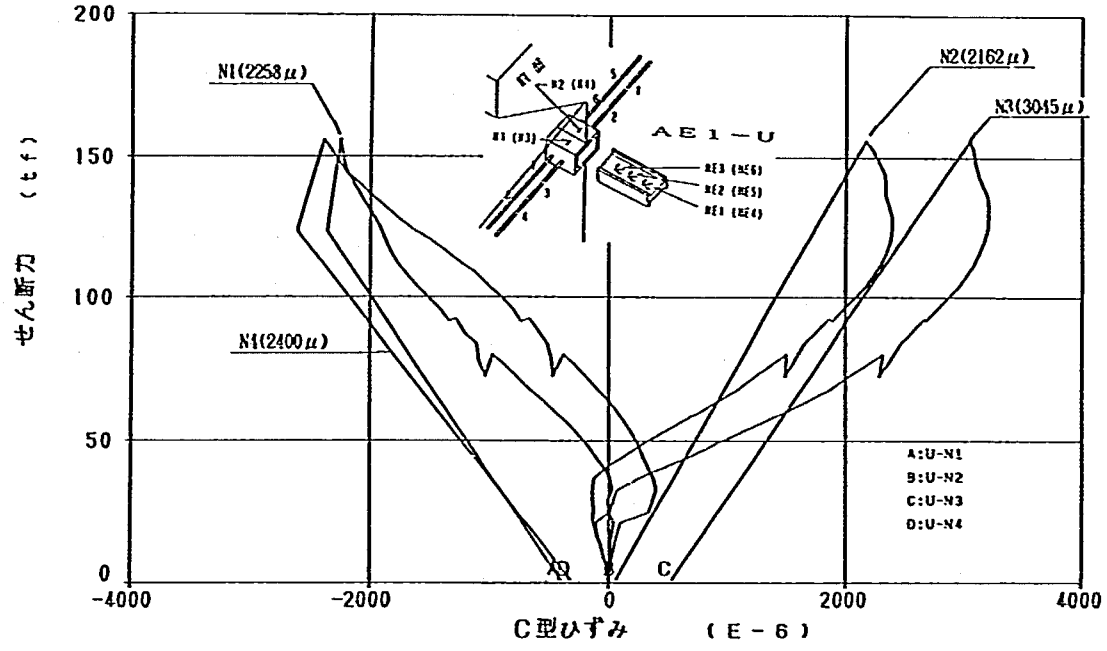


図－２．２．１８　せん断力 ～ H型金具歪

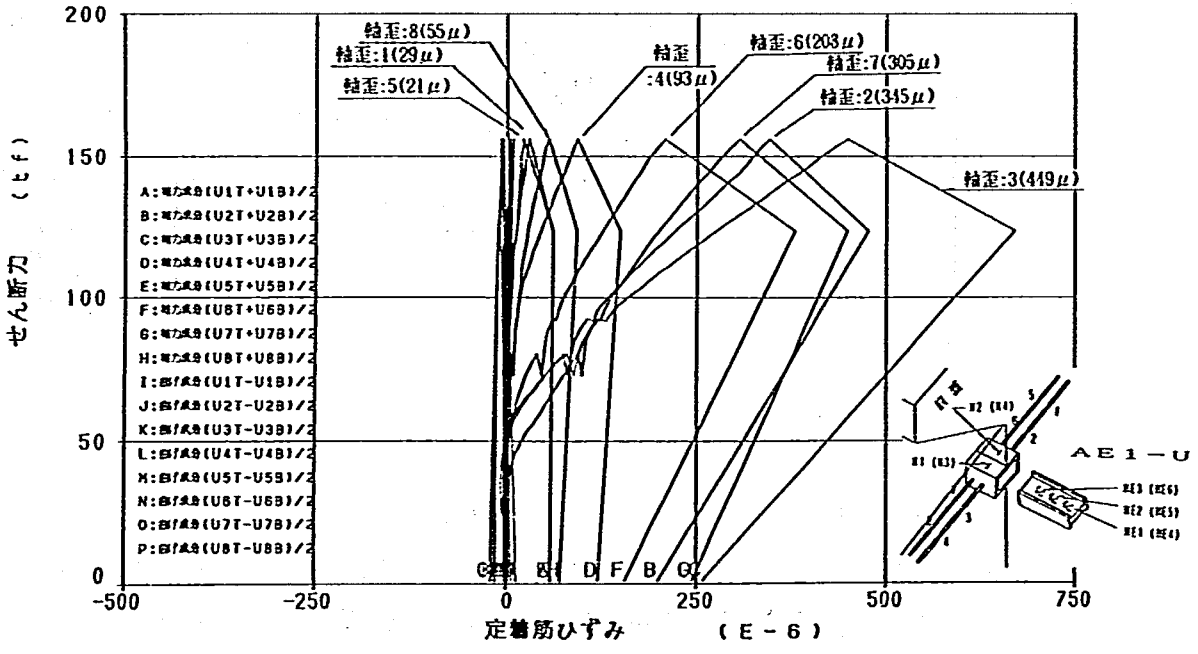
C型金具歪については、歪ゲージの取り付けの制約上、曲げ成分の計測はできなかったが、上下面の歪に正負逆転の現象が確認されており、C型ウェブ板に曲げモーメント発生の可能性を示唆している。C型金具は、H金具よりの軸方向引張力をも受ける構造となっているため、曲げと軸方向力を同時に受ける部材としての設計方法など、今後の検討が必要と思われる。

また定着筋歪の伸びは、P=50(tf)付近より顕著になっておることから、初期段階においては、くさび金具（C，H型金具）のみにせん断力が負荷され、その後の軸歪成分の進展より、アンカー筋が最終的に引張抵抗型の抵抗メカニズムになっていることが推測される。

最終的な破壊はH型金具のウェブせん断で決定されたため、ウェブを厚くしたりの補強方法など、いくつかの検討課題が残されているが、初期すべり防止対策が今後の主たる課題であると考えられる。



図－２．２．１９　せん断力 ～ Ｃ型金具歪

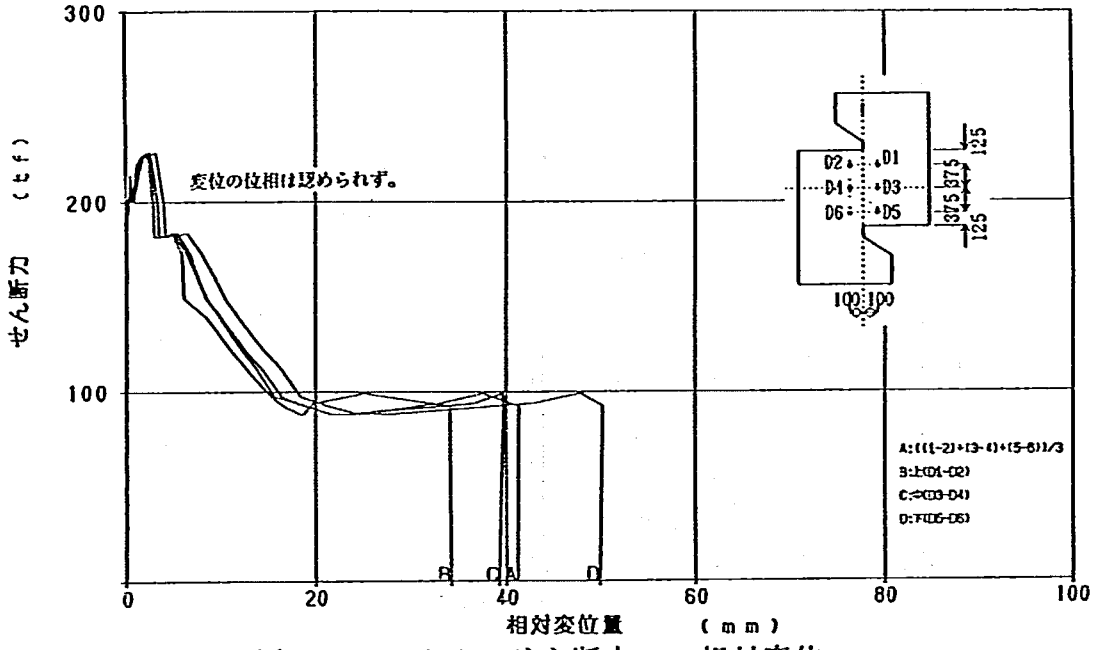


図－２．２．２０　せん断力 ～ 定着筋歪

3) コンクリート接合継手

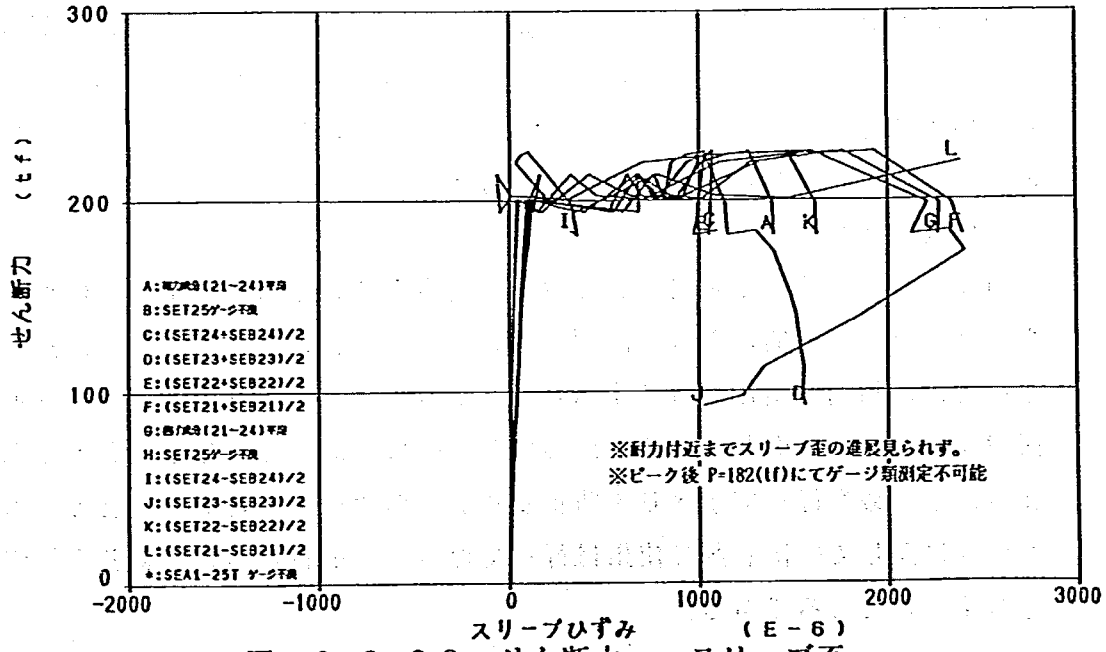
図－２．２．２１に示したせん断力～相対変位関係グラフによると、上中下の相対変位に有意な差が認められず、最終耐力付近の:P=200(tf)まで高いせん断剛性を保ってることがわかる。継手なし供試体が、コンクリートのせん断歪の伸びに、

鉄筋歪が呼応するように緩やかに進展した事実に比して、コンクリート継手においては、耐力付近の:P=200(tf)まではスリーブ，鉄筋歪ともに何らの進展が見られず、コンクリート歪の伸びだけに限られている。このことは、接着剤によるせん断伝達効果が非常に大きく、接着剤とコンクリートのせん断伝達が耐力付近まで支配的であったことが伺え、せん断力伝達機構が継手なし供試体と若干異なることを示唆している。



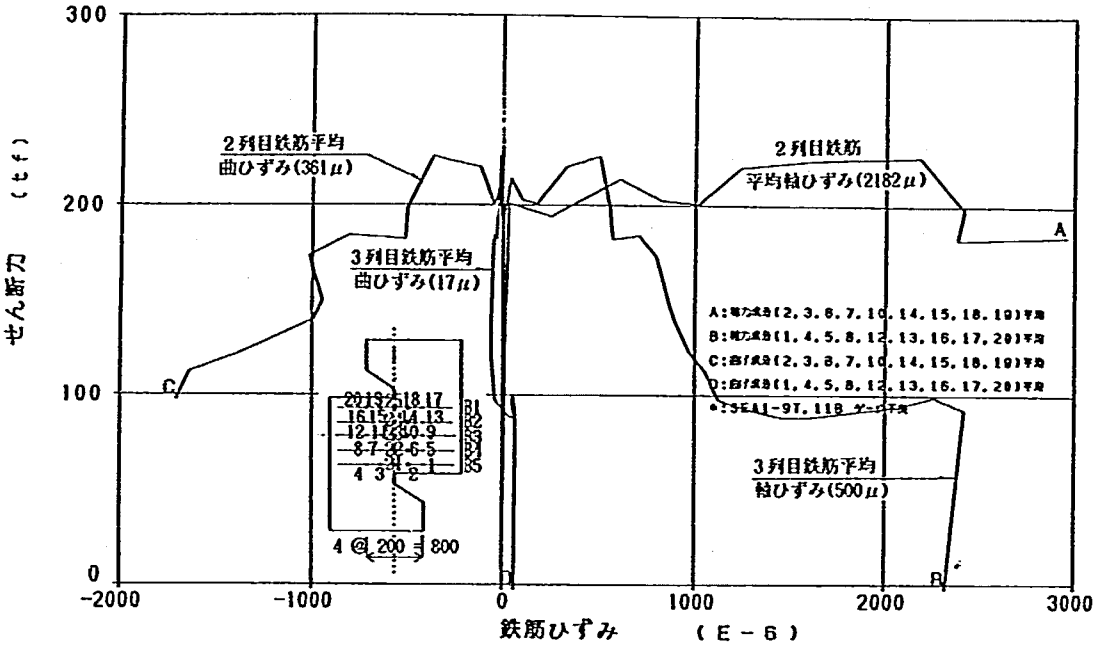
図－２．２．２１　せん断力 ～ 相対変位

図－２．２．２２，図－２．２．２３にそれぞれ、せん断力～鉄筋ひずみ、スリーブ歪関係を示した。最終耐力発揮後の歪進展が顕著なことより、接合部コンクリート破壊後はスリーブ，鉄筋がせん断力を負担し、粘り強さを示していることが確認できる。



図－２．２．２２　せん断力 ～ スリーブ歪

せん断バネ剛性は、継手なし供試体と同様非常に高い値を得たが、せん断耐力ではPu=228(tf)と継手なし供試体ほどの高い耐力を得ることが出来なかった。しかしながら、許容せん断耐力の計算値が Pa=40(tf)程度であることを考慮すれば、実際上問題となることはないものと考えられる。



図－２．２．２３　せん断力 ～ 鉄筋歪

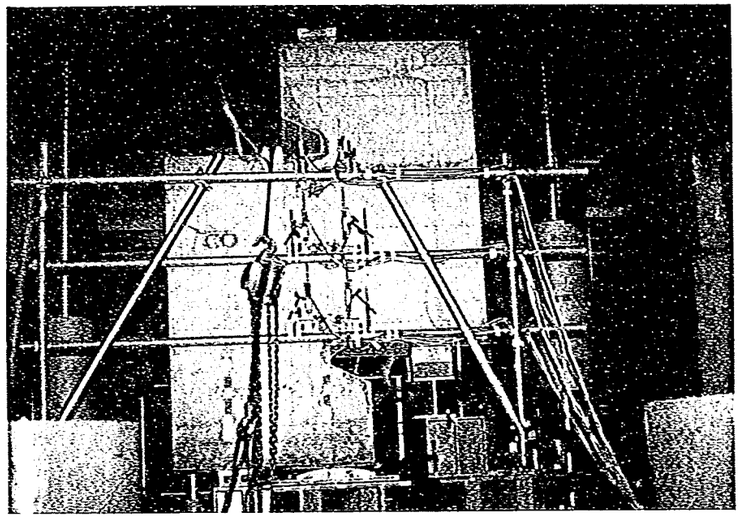
(2) 面内せん断に対する継手特性の評価

1) 面内せん断耐力

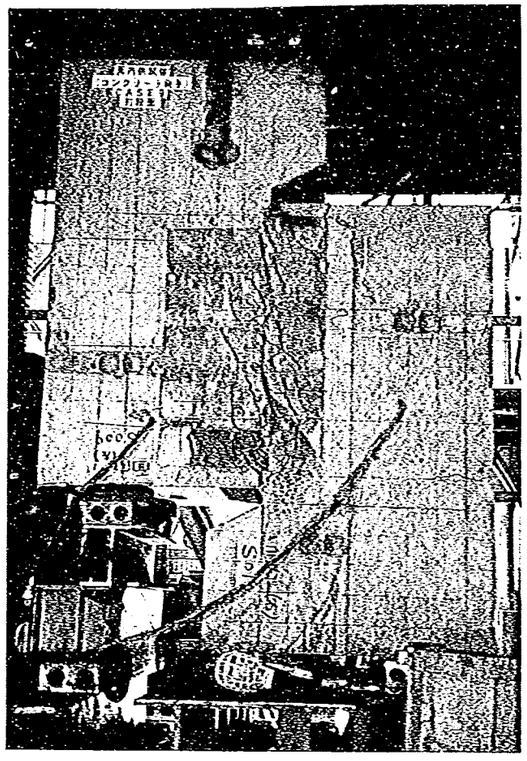
ACI基準に基づく終局耐力荷重 :P=76(tf), 許容耐力荷重 :P=40(tf)より評価すれば、くさび, コンクリートの両継手とも本基準を満足する。したがって強度のみを考える場合はほぼ問題はないと考えられるが、本基準が棒部材としてのせん断耐力であり、今回実施した一面せん断タイプの試験結果をどう評価して実際の設計に反映させるかが今後の課題と考えられる。

2) 面内せん断剛性

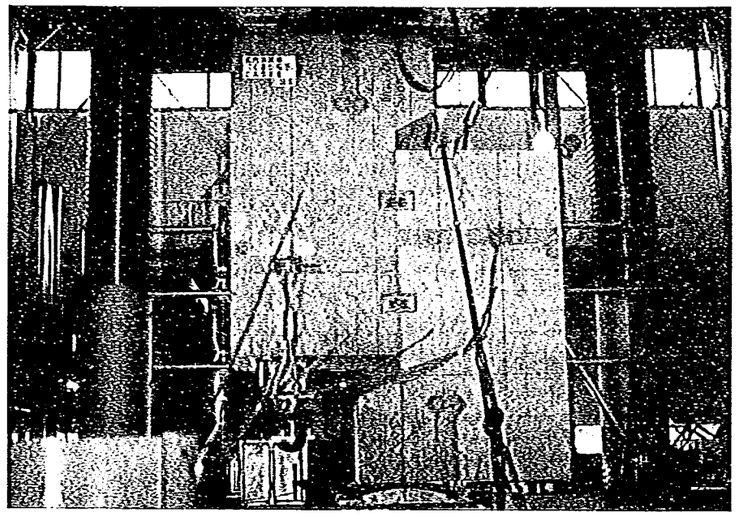
コンクリート接合継手については、最終耐力時の相対変形が極度に小さいことを考えれば、剛性的にもほぼ問題がないものと思われる。一方くさび接合継手については、初期段階におけるすべり変形が著しい事実より、このまま継手として採用することには問題があると思われる。そのため、くさびそのものの構造の改良や、中詰めを行ってすべりを防止するなどの改善が必要であると考える。ただ本継手に関しては接着剤の使用は行っておらず、それらの効果をどう評価するかも興味深いところである。



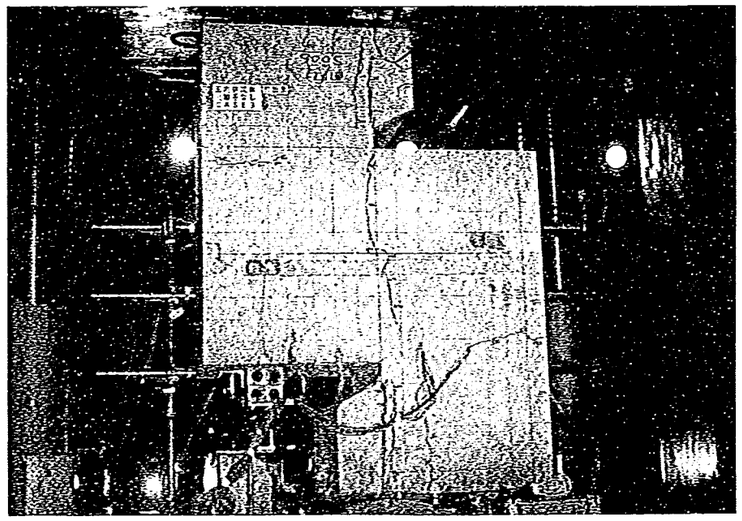
写真－２．２．７　継手なし供試体載荷状況



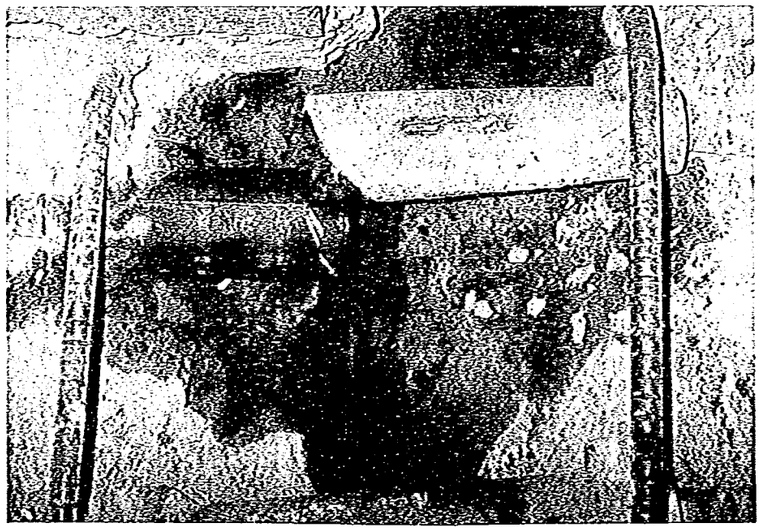
写真－２．２．９　コンクリート接合継手供試体載荷状況



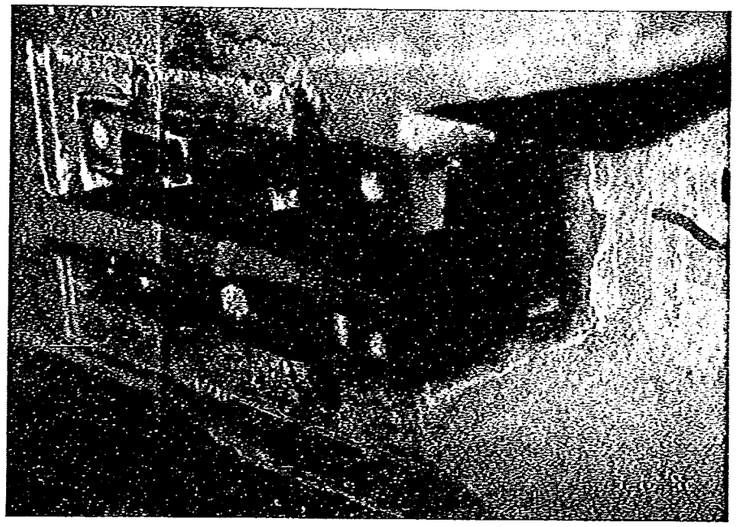
写真－２．２．１１　くさび接合継手供試体載荷状況



写真－２．２．８　継手なし供試体ひび割れ状況



写真－２．２．１０　コンクリート継手部破壊状況



写真－２．２．１２　くさび継手Ｈ型金物破壊状況

2．2．3　継手面外せん断試験

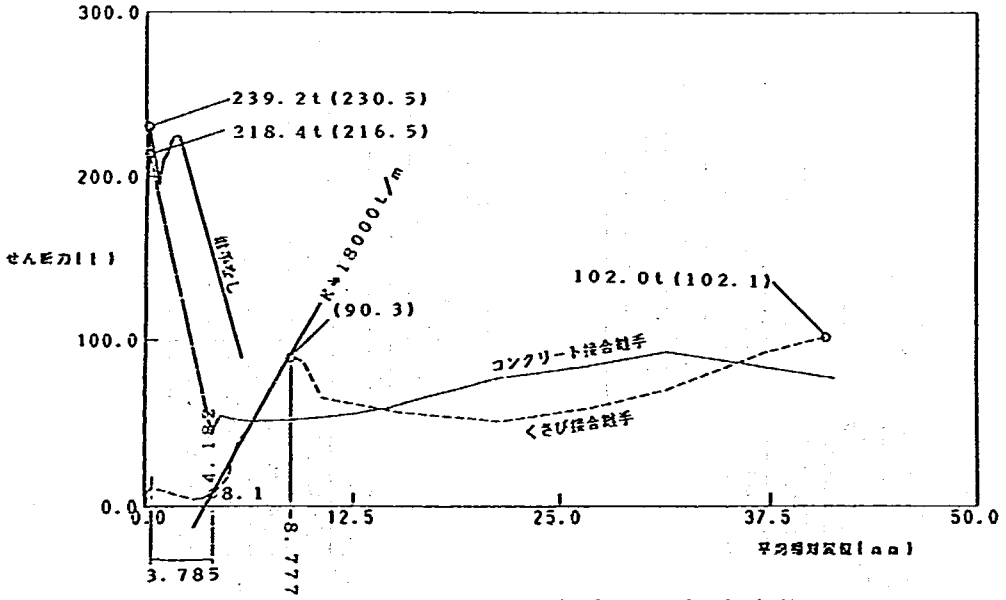
(1) 試験結果

試験の結果を一覧表にして、表－2．2．3に示した。

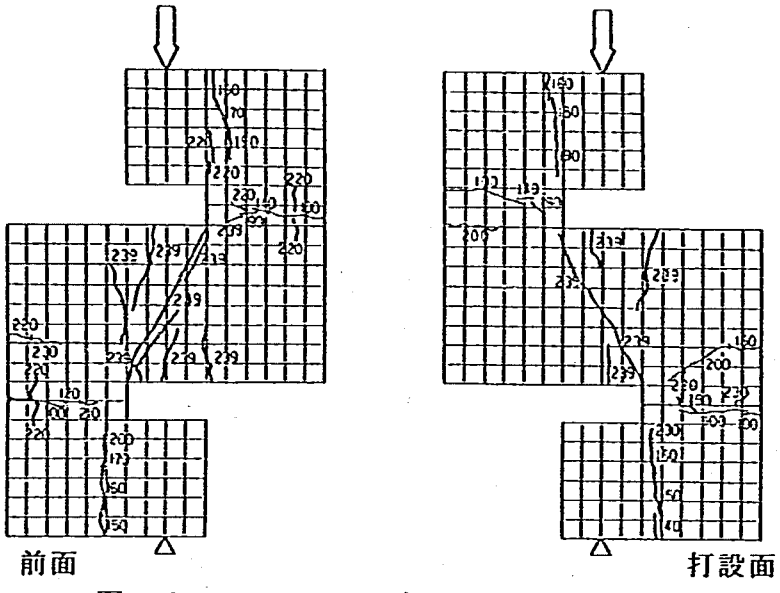
表－2．2．3　継手面外せん断試験結果一覧表

継手種類	継手なし (Case NS-2)	くさび接合継手 (Case CS-5)	ｺﾝｸﾘｰﾄ接合継手 (Case CS-8)	備考
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ圧縮強度 : f_c (kgf/cm²)	764	798 (L871, R724)	778 (L732, R823)	両継手供試体については左右ﾌﾞﾛｯｸの平均強度
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ引張強度 : f_t (kgf/cm²)	41．8	43．0	42．3	$f_t = 0.5(f_c)^{2/3}$ ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ割線弾性係数 :Ec (kgf/cm²)	3.96×10^5	3.75×10^5	3.79×10^5	両継手供試体については左右ﾌﾞﾛｯｸの平均
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ剪断弾性係数 :Gc (kgf/cm²)	1.70×10^5	1.61×10^5	1.62×10^5	$Gc = Ec / 2(1+\nu)$ 弾性論式
最大荷重 :P (tf)	230 (293.2)	90．3 (102.1)	216 (218.4)	( ) 内は実験時ﾓﾆﾀｰで確認したピーク値
最大荷重時の中央点相対変位 :δ (mm)	0．23 (0.89)	8．84 (41.29)	0．17 (0.74)	( ) 内は実験時ﾓﾆﾀｰで確認したピーク時変位
継手部せん断バネ定数 : Ks (tf/cm)	4.0×10^4	7.0×10^1	∞ (変位負)	許容せん断力(=39.6t)時のせん断変形値より逆算したバネ定数
継手部せん断バネ定数 : Ks' (tf/cm)	∞	1.8×10^1	∞	初期すべりを考慮せず一定傾斜時のバネ定数を採用した
最終破壊モード	せん断筋の降伏	C型金具破断 ｱﾝｶｰ筋の破断	ｽﾘｰﾌﾞの破断	

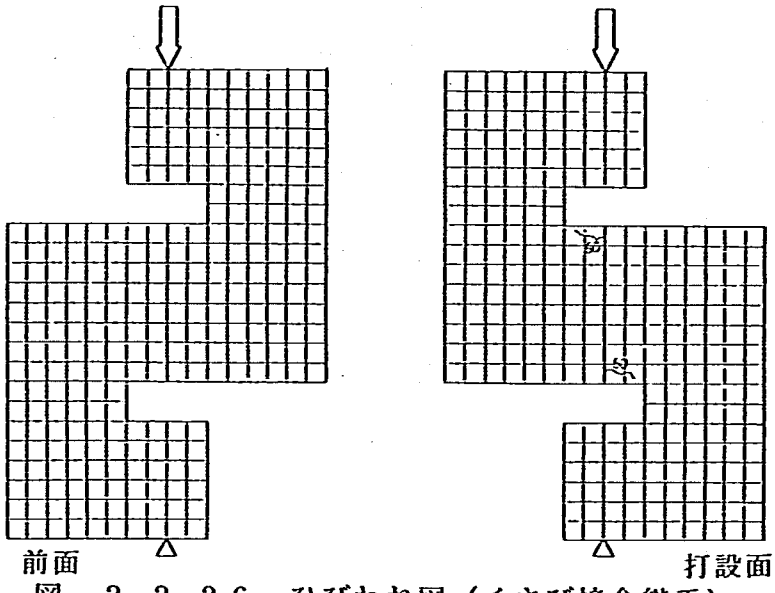
また、せん断力～鉛直変位図、ひびわれ図をそれぞれ図－2．2．24～図－2．2．27に示す。



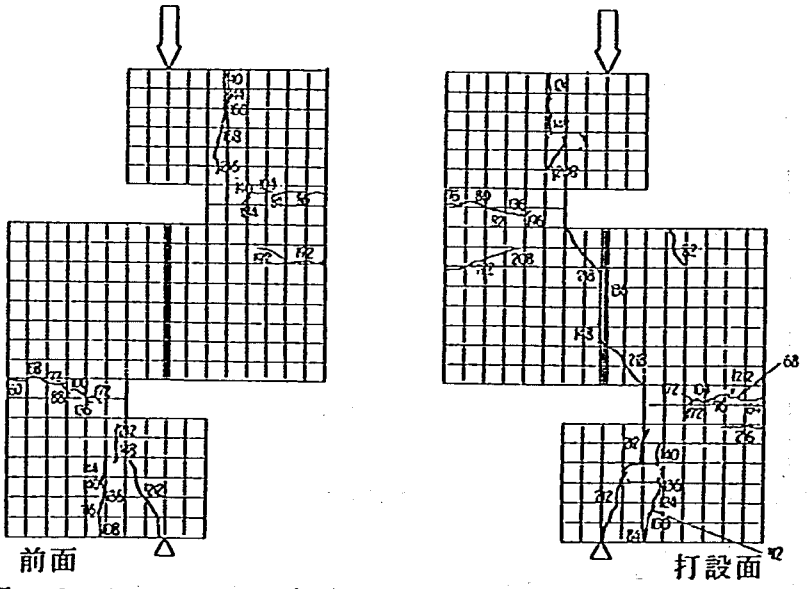
図－2．2．24　せん断力 ～ 鉛直変位



図－２．２．２５　ひびわれ図（継手なし）



図－２．２．２６　ひびわれ図（くさび接合継手）



図－２．２．２７　ひびわれ図（コンクリート接合継手）

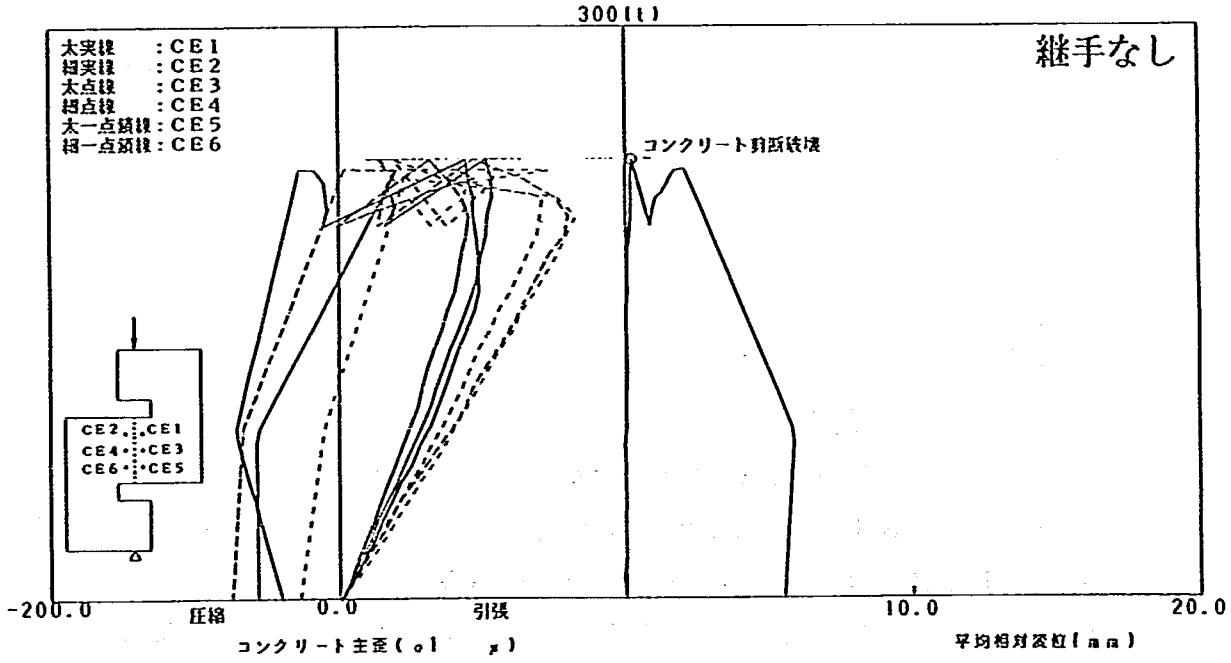
面外せん断試験においては、面内せん断試験のそれとほぼ同様の挙動傾向が得られており、くさび接合継手の初期すべりが本試験でも主問題となった。

以下に各継手に関する考察を加える。

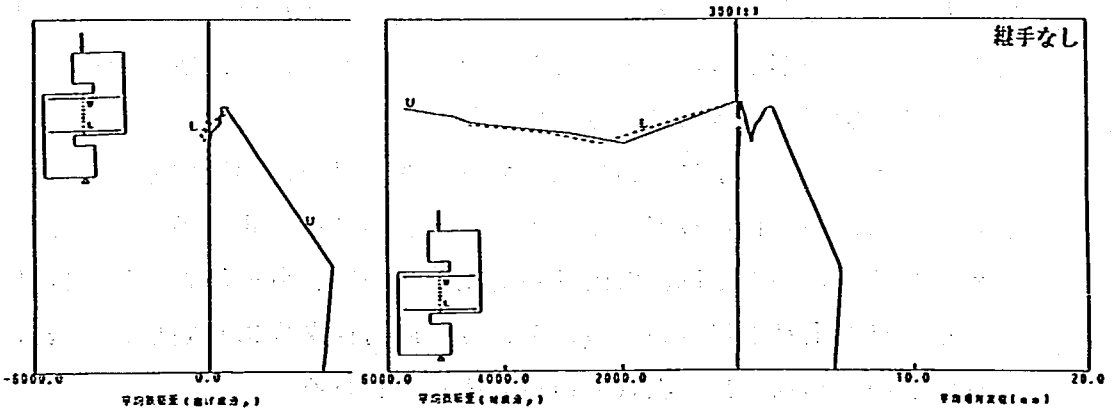
1) 継手なし試験体

載荷せん断力 :P=100(tf) 程度より、コンクリート面にクラックが発生し、:P=239(tf)にて、供試体中央部せん断面に斜めひび割れが発生して耐力を失った。終局耐力は、面内せん断耐力に比して約半分の値であったが、これは配筋方向の違いからせん断筋としての補強効果の低減が一因と推定できるが、なお今後の検討が必要である。その他の傾向は、ほぼ面内せん断試験と同様であった。

図－２．２．２８にせん断力～コンクリート歪、図－２．２．２９にせん断力～鉄筋歪を示した。



図－２．２．２８　せん断力 ～ コンクリート歪

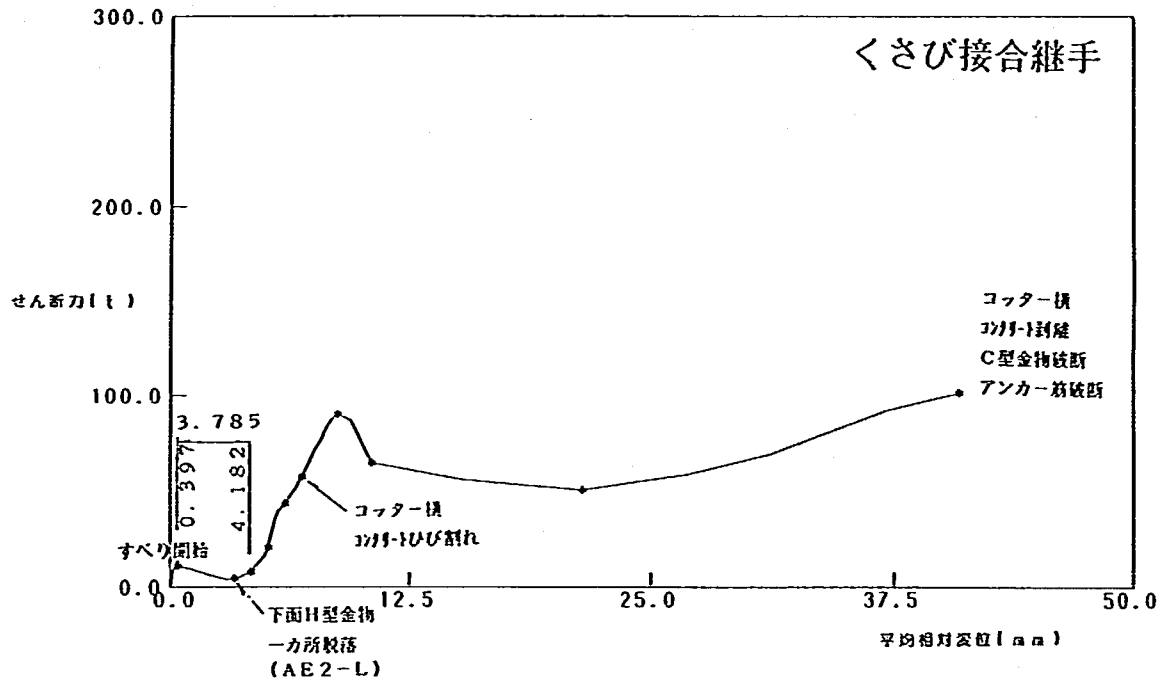


図－２．２．２９　せん断力 ～ 平均鉄筋歪

2) くさび接合継手

図－２．２．３０にせん断力～相対変位関係を示した。載荷せん断力：P=11(tf)まで上昇した時点で、相対変位が大きく増大し「すべり」が開始した。すべりに伴って荷重が:P=5(tf)まで低下した時点で下側裏面コッター(AE2L)のH金具が脱落したが、そのまま再度荷重を上昇させ、：P=90.3(tf)にて荷重ピーク値を確認した。

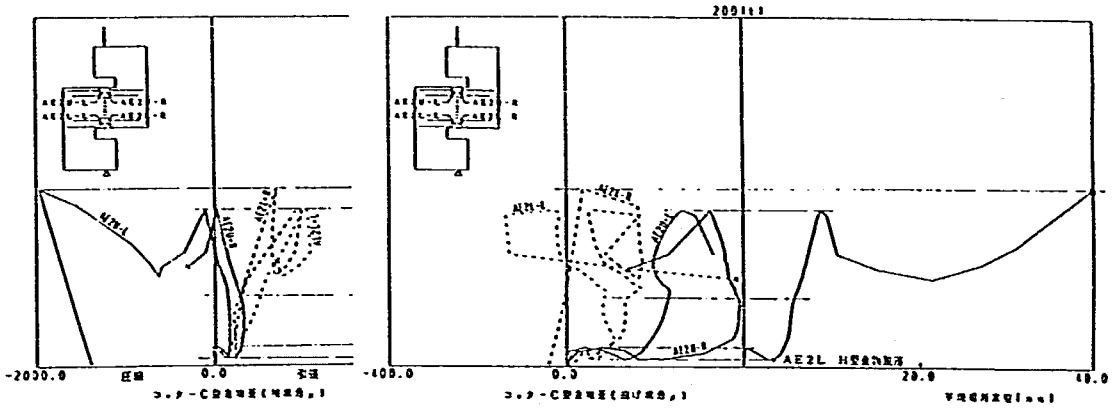
その後大きな相対変位（δ=41mm)の下に、最大荷重:P=102(tf)でC型金具、アンカー筋が破断し、破壊に至った。



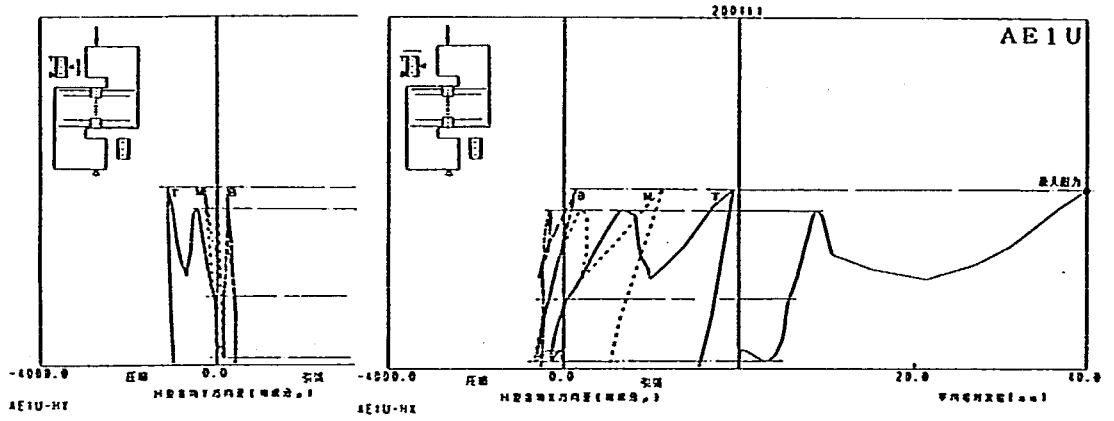
図－２．２．３０　せん断力 ～ 相対変位

図－２．２．３１～図－２．２．３５にそれぞれ、せん断力～C型金具歪，H型金具歪およびアンカー筋歪関係を示した。C型金具の歪挙動は、「すべり」現象中は若干の軸歪成分増加が認められたものの、すべり終了からせん断力～相対変位変曲点に至るまでの間は、曲げ歪が卓越して増加している。C型金具の端面には約２mmの突起があり接合面で噛み合う構造となっている。そのため、C型金具に捩じれが発生したものと考えられる。相対変位変曲点以降は、せん断力～C型金具歪関係の傾向がそれ以前と明らかに異なっており、せん断耐荷機構の主要因がC型金具の突起噛み合わせより、他に移行したものと考えられる。

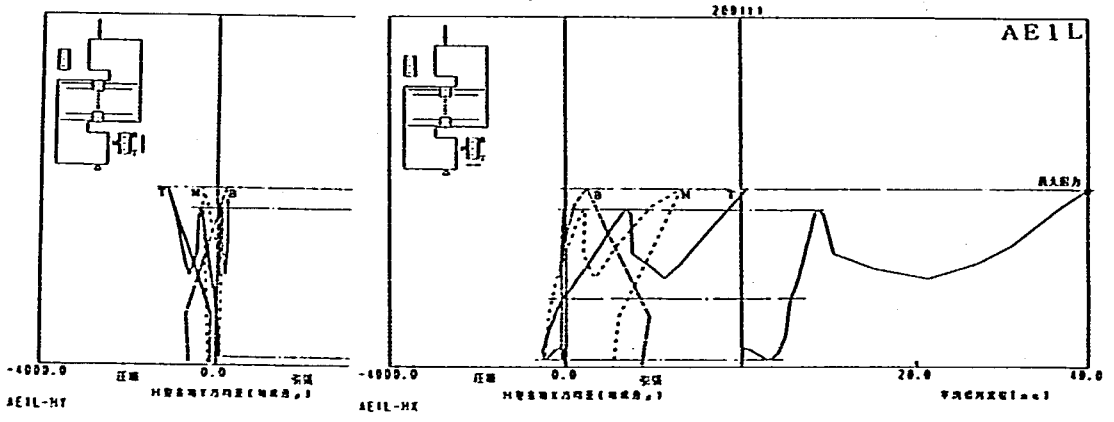
また、アンカー筋歪については、変位変曲点以降、軸歪成分，曲げ歪成分とも増大の傾向が顕著になっており、アンカー筋のダウエル効果が発揮されたものと考えられる。このことは、面内せん断試験時のアンカー筋歪挙動とは異なる傾向である。H型金具歪についても、アンカー筋同様ダウエル効果の引張力となっている様子が歪挙動に良く現れているものと思われる。



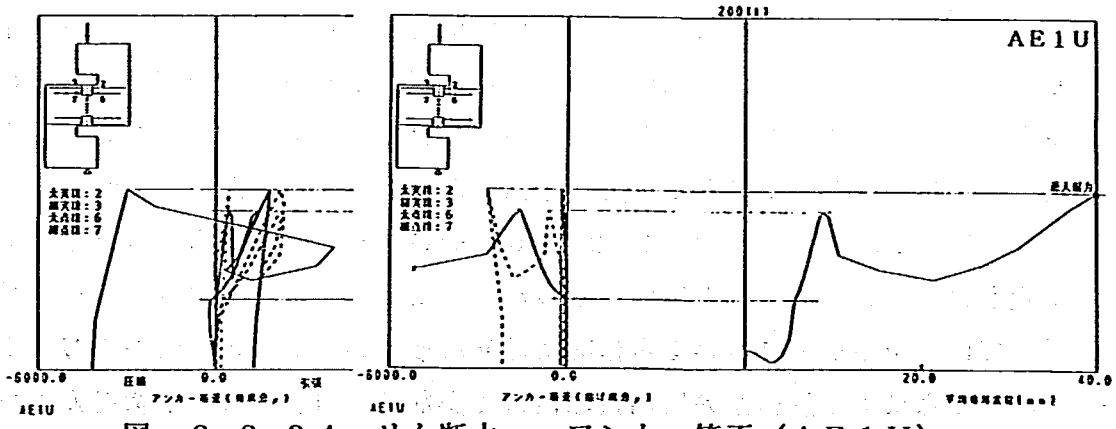
図－２．２．３１　せん断力 ～ Ｃ型金具歪



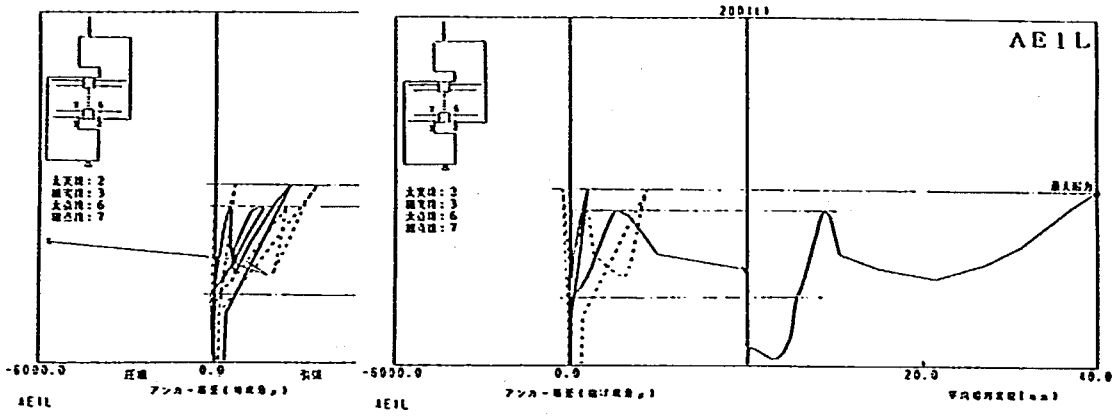
図－２．２．３２　せん断力 ～ Ｈ型金具歪（ＡＥ１Ｕ）



図－２．２．３３　せん断力 ～ Ｈ型金具歪（ＡＥ１Ｌ）

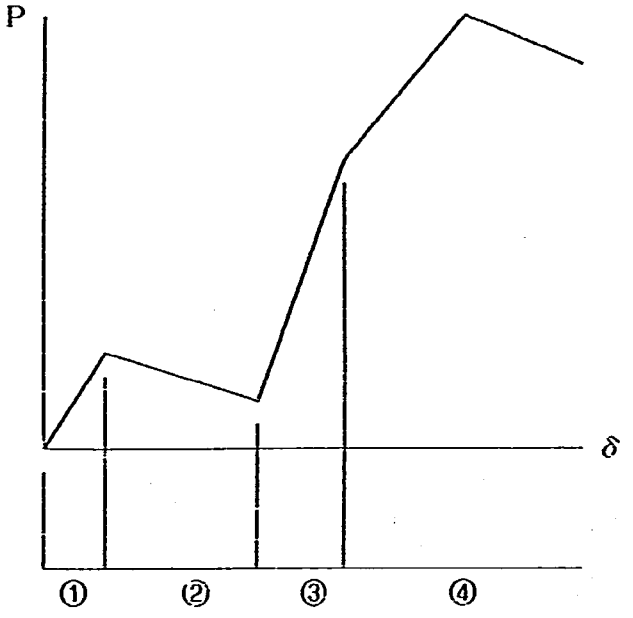


図－２．２．３４　せん断力 ～ アンカー筋歪（ＡＥ１Ｕ）



図－２．２．３５　せん断力 ～ アンカー筋歪（ＡＥ１Ｌ）

以上の結果よりくさび接合継手の面外せん断機構を模式化すると、図－２．３．４２のように表わすことが可能である。



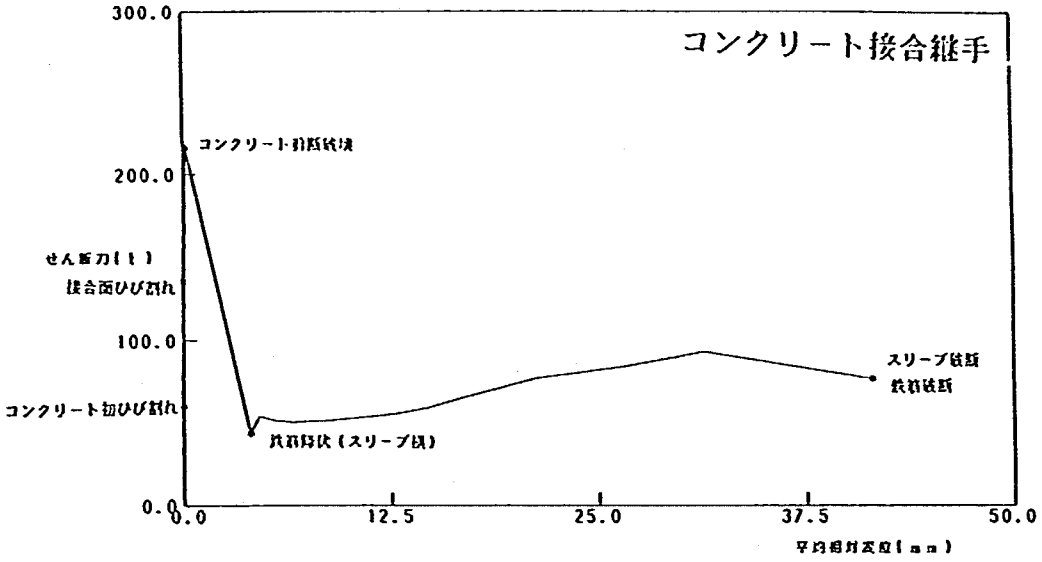
領域①：摩擦が耐荷機構の主要因である領域
領域②：「すべり」領域
領域③：Ｃ型金具の突起噛合わせが耐荷機構の主要因である領域
領域④：アンカー筋，Ｈ型，Ｃ型金具の複合作用によるダウエル効果の影響があらわれる領域

図－２．２．３６　面外せん断耐荷機構模式図

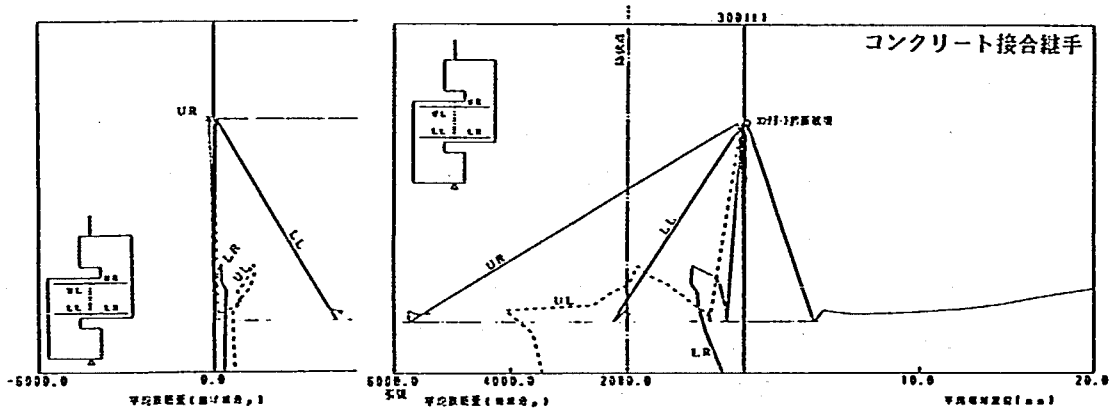
3）コンクリート接合継手

図－２．２．３７にせん断力～相対変位関係を示した。図の線型は、「継手なし」試験結果とまったく同様の傾向を示し、載荷せん断力:P=136(tf)にて接合コンクリートと本体コンクリートの接合面のひび割れを見、 P=218(tf)で接合部鉄筋位置の斜めひび割れが発生して、急激な荷重低下を示した。

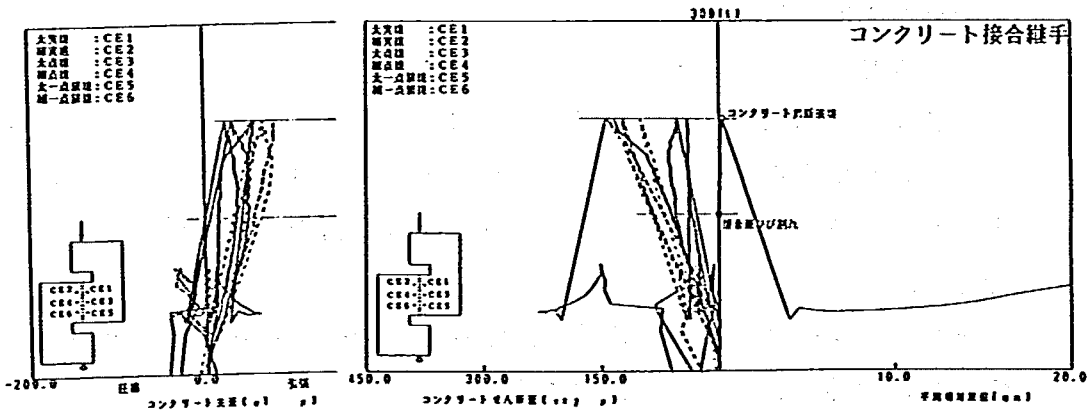
また図－２．２．３８～図－２．２．４０にそれぞれ、せん断力～鉄筋歪，スリーブ歪およびコンクリート歪関係を示した。「継手なし」と「コンクリート接合継手」では、歪増加量について定量的には異なっているものの、コンクリートのせん断破壊点までは鉄筋歪の増加量は極めて少なく、コンクリートのせん断破壊以降急激に増大するという、定性的な点においては同様の傾向にある。



図－２．２．３７　せん断力 ～ 相対変位



図－２．２．３８　せん断力 ～ 鉄筋歪

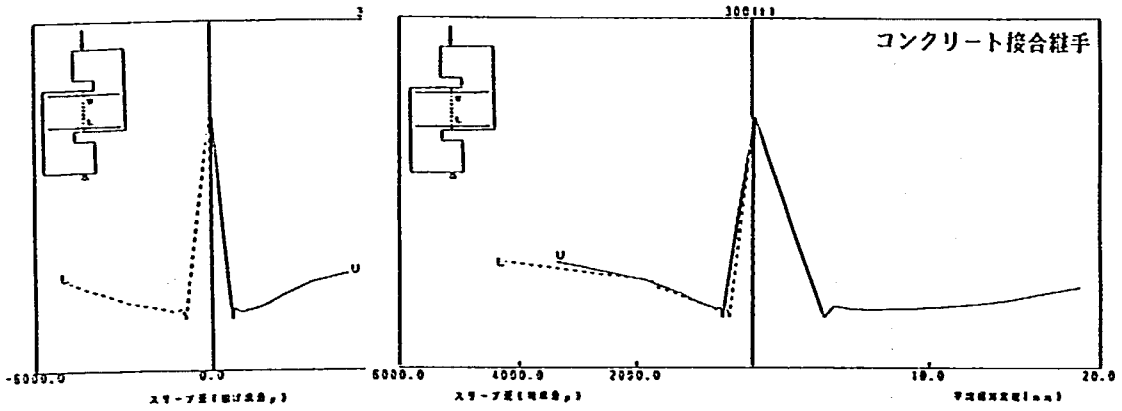


図－２．２．３９　せん断力 ～ コンクリート歪

せん断耐荷機構には、コンクリート強度（骨材噛合わせ効果）、鉄筋のダウエル効果などが関与するとされるが、本継手の場合、せん断破壊点までの鉄筋歪の増加量が極めて小さいため、せん断耐力発現に鉄筋のダウエル効果がほとんど影響していないことが伺える。

また、コンクリート歪では、主歪，せん断歪ともに一様な増加傾向にあり、

「継手なし」試験体と同様の傾向を見せている。「継手なし」試験体に比して歪量が小さいのは、せん断面への応力集中に起因しているものと考えられる。



図－２．２．４０　せん断力 ～ スリーブ歪

(2) 面外せん断に対する継手特性の評価

1) 面外せん断耐力

面内せん断試験と同様、 ACI基準に基づく終局耐力荷重 :P=76(tf), 許容せん断荷重 :P=40(tf)より評価すれば、くさび, コンクリートの両継手とも実験で得られた耐力は本基準を満足する。

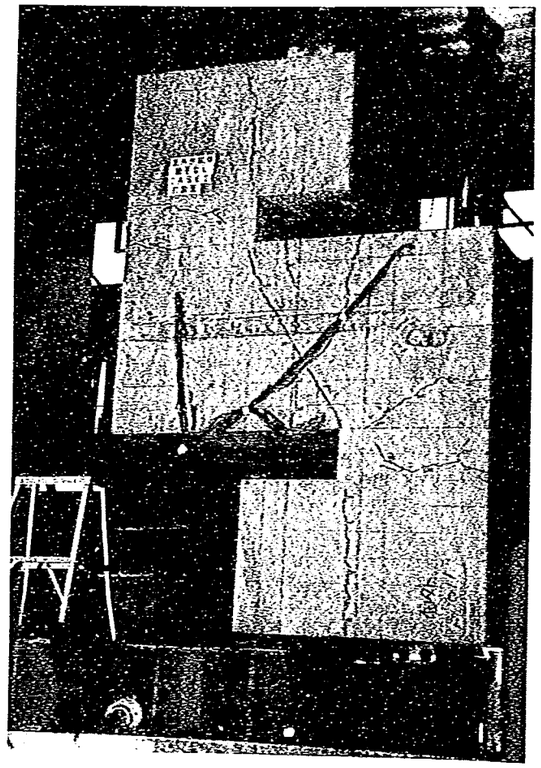
一方、「継手なし」供試体の実験結果を比較すると、「コンクリート接合継手」は同等の耐力を有するものと結論できるが、「くさび接合継手」ついては、「継手なし」供試体の１／２以下であったことから、等価であると結論することは難しい状況にある。

2) 面外せん断剛性

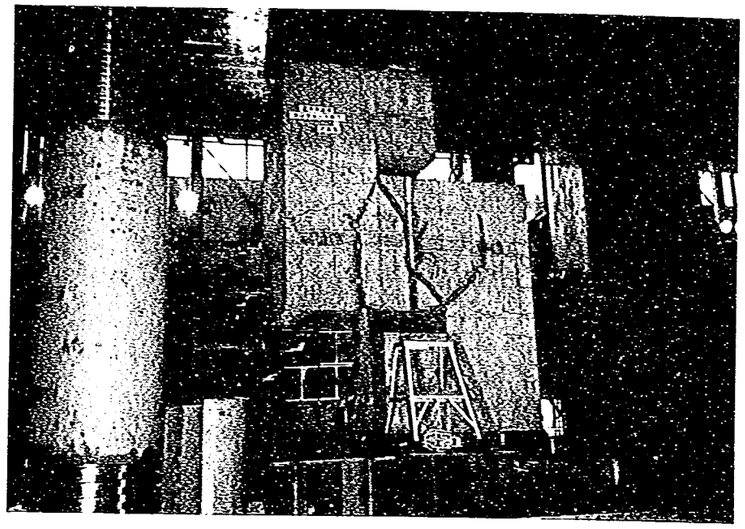
コンクリート接合継手については、「継手なし」供試体とほぼ同等の剛性を有し、せん断バネ剛性は破壊に至まで、ほぼ無限大（剛バネ）であると言える。

「くさび接合継手」のせん断力～相対変位関係は、他の２者に比較して性状が大きく異なる。特に初期段階の「すべり」は、面内せん断試験同様大きな特異点である。

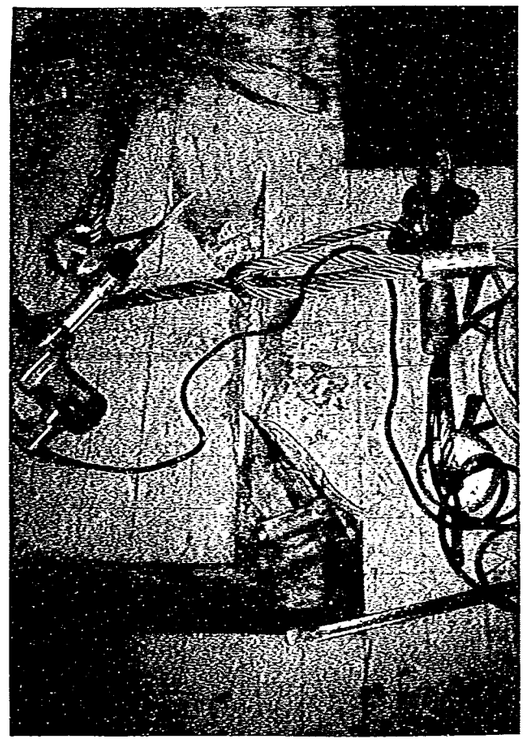
また、「すべり」終了後のせん断剛性も他の２者に比較して低いものであり、何らかの改善が必要であると考える。



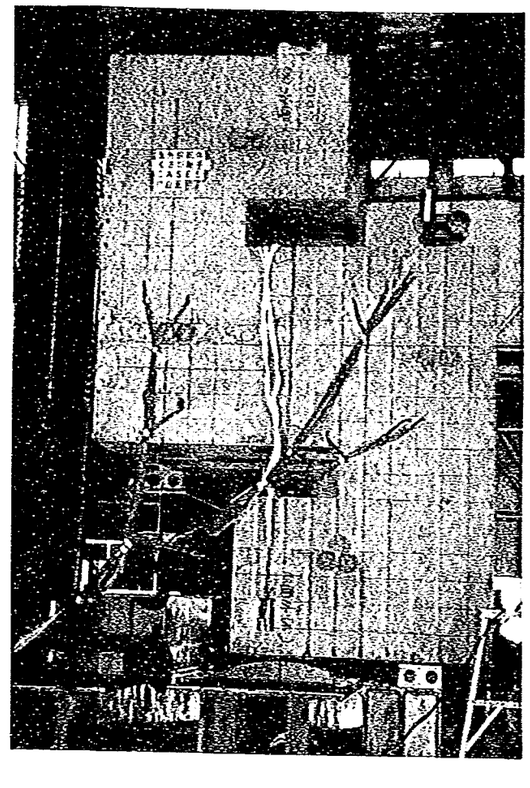
写真－２．２．１３　継手なし供試体載荷状況



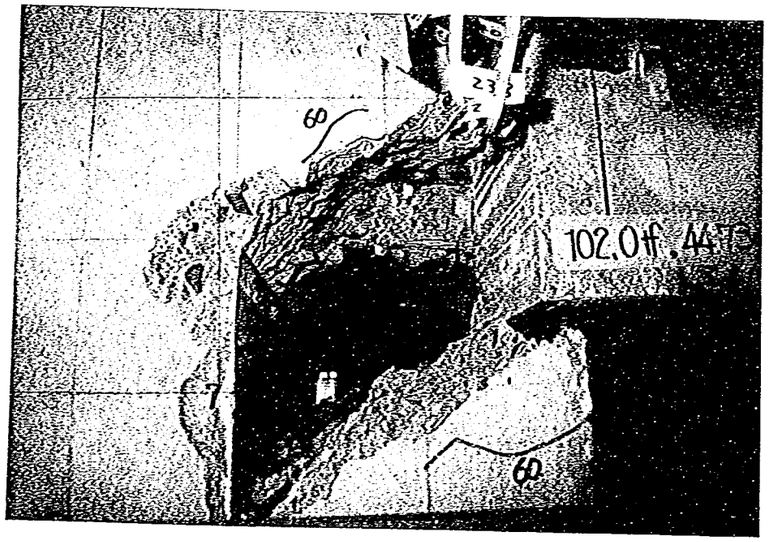
写真－２．２．１４　コンクリート接合継手供試体載荷状況



写真－２．２．１５　コンクリート継手破壊状況



写真－２．２．１６　くさび接合継手供試体載荷状況



写真－２．２．１７　くさび継手破壊状況

2．3　まとめ

本試験では、オープンケーソンプレキャスト躯体の継手選定にあたり、試験を通しての耐力・剛性などの継手特性の把握を行ったものである。継手に関する一連の実験を通して得られた結果をまとめると、以下の通りである。

2．3．1　くさび接合継手

(1) 接合部の曲げ特性に関しては、「継手なし」と強度・剛性ともに等価性を有するものと考えられる。

(2) 継手曲げ耐力あるいは継手曲げ剛性の算定法の提案を行うためには、継手自身のバネ定数把握，くさび挿入時点のプレストレス評価法，各影響因子の寄与率の定量的な把握および継手製作精度に関する品質確保などについて、今後の課題として検討する必要がある。

(3) 面内外せん断特性については、耐力・剛性ともに問題があり、特にくさび継手の金物間「あそび」に起因する、荷重初期段階「すべり」がそれら特性に大きく影響しているものと考えられる。本くさび接合継手は、曲げ状態における引張力に抵抗する構造機構として考案された経緯があり、せん断力に抵抗する構造機構を有していないものと思われる。

(4) 面内外せん断特性の改善には、くさび継手そのもののせん断に対抗する構造への改良や、躯体自身にせん断抵抗機構を持たせる改良などが考えられる。

2．3．2　コンクリート接合継手

(1) 継手曲げ特性に関しては、「継手なし」と耐力・剛性ともに等価性を有するものと考えられる。しかしながら、接合モルタルのクラック発生後の顕著な剛性低下が確認されており、複合体としての円筒体挙動の検討を通して、総合的な評価が必要である。

(2) 継手曲げ耐力あるいは剛性評価式の定式化については、くさび接合継手同様検討すべき課題が残されている。

(3) 面内外せん断特性については、「継手なし」と耐力・剛性ともに等価性を有する結果が得られたが、鉄筋およびスリーブ歪の伸びに「継手なし」と異なる傾向が確認されている。

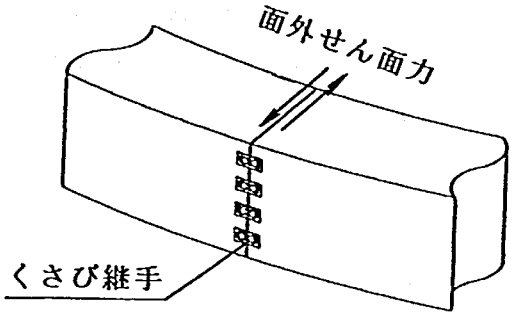
平成３年度に実施した本継手実験の結果、「コンクリート接合継手」と「継手なし」との強度・剛性の等価性が確認された。「くさび接合継手」の継手曲げ特性に関しては、「継手なし」との等価性は確認されたものの、せん断特性については問題ありとの結論を得た。

3．小型せん断キー実験（平成４年度）

3．1　実験概要

3．1．1　実験目的

本実験は、平成３年度に実施した継手要素実験から得られた課題として、面外せん断力に対する「くさび接合継手」のせん断耐力・剛性の向上を図るため、「せん断キー」による継手の要素実験を実施し、最終的な「くさび接合継手」との併用の実験を行うための基礎的資料を得ることを目的としている。



図－３．１．１　くさび接合継手に作用する面外せん断力

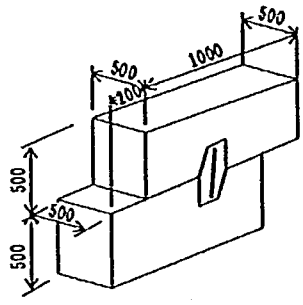
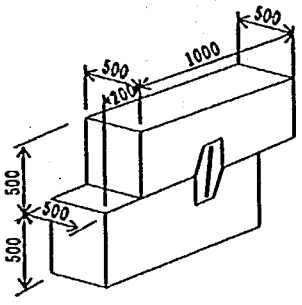
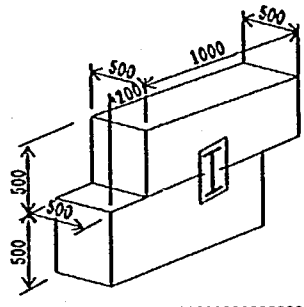
3．1．2　実験ケース

本実験ではせん断キーの機能／性能および施工性から、せん断キーとして「鋼製平板キー」「角鋼管キー」「コンクリート製キー」の３種類を選定した。

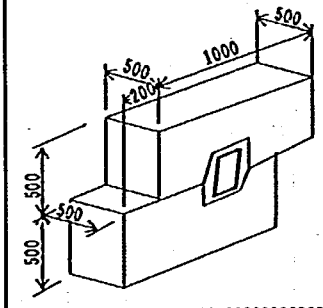
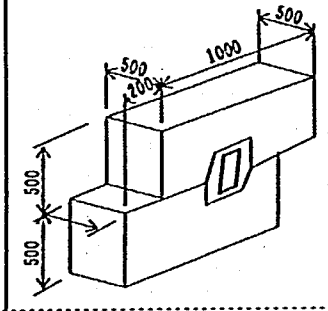
さらに「鋼製平板キー」をグレイド・形状によって３タイプに、他の２つについてはそれぞれ２タイプを設定し、合計７供試体に対して「せん断キー実験」を実施し、せん断キーの耐力／変形などの力学特性の把握を行ったものである。

表－３．１．１～表－３．１．４にせん断キー実験の概要および供試体の一覧表を示す。

表－３．１．１　せん断キー試験概要(１)

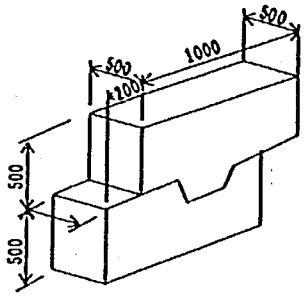
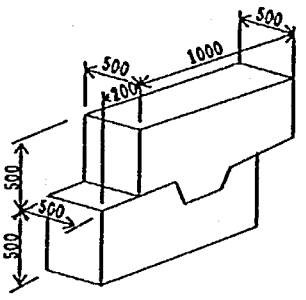
		1 鋳製平板キー(1)	2 鋳製平板キー(2)	3 鋳製平板キー(3)
供試体概要図				
	共通諸元	・載荷断面寸法；B*L=50cm*80cm ・ｺﾝｸﾘｰﾄ強度；σ_{ck}=400kgf/cm^2 ・主　鉄　筋；D13,D16	同　　左	同　　左
	個別諸元			
事前計算値	許容荷重(常時)	V=τ_{ca}*B*t =800kgf/cm^2*50cm*0.6cm =24.0tf	V=τ_{ca}*B*t =800kgf/cm^2*50cm*0.6cm =24.0tf	V=τ_{ca}*B*t =800kgf/cm^2*50cm*0.55cm =22.0tf
載荷ステップ		1 tf	同　　左	同　　左
計測項目共通		・荷　重　・ひび割れ状況 ・供試体変位　・ｺﾝｸﾘｰﾄ強度 ・主鉄筋歪み　・鉄筋強度	・荷　重　・ひび割れ状況 ・供試体変位　・ｺﾝｸﾘｰﾄ強度 ・主鉄筋歪み　・鉄筋強度	・荷　重　・ひび割れ状況 ・供試体変位　・ｺﾝｸﾘｰﾄ強度 ・主鉄筋歪み　・鉄筋強度
計測項目個別		・ﾌﾟﾚｰﾄ歪み　・ﾌﾟﾚｰﾄ変形状況 PL-200*500*6^t(SS400相当)	・ﾌﾟﾚｰﾄ歪み　・ﾌﾟﾚｰﾄ変形状況 PL-300*500*6^t(SS400相当)	・角鋼管歪み　・H鋼歪(H-200*100*5.5*8) ・角鋼管ﾌﾗﾝｼﾞ歪・H鋼変形状況 ・角鋼管変形状況

表－３．１．２　せん断キー試験概要(２)

		4 角鋼管キー(1)	4-$_2$ 角鋼管キー(2)	
供試体概要図				
	共通諸元	・載荷断面寸法；B*L=50cm*80cm ・ｺﾝｸﾘｰﾄ強度；σ_{ck}=400kgf/cm^2 ・主　鉄　筋；D13,D16	同　　左	
	個別諸元			
事前計算値	許容荷重(常時)	V=τ_{ca}*(Gs*As + Gm*Am)/Gm =20kgf/cm^2*(8.1*10^{5}kgf/cm^2*2* 0.45cm*50cm+10*10^{4}kgf/cm^2*9.1cm *50cm)/10*10^{4}kgf/cm^2=16.4 tf	V=τ_{ca}*(Gs*As + Gm*Am)/Gm =20kgf/cm^2*(8.1*10^{5}kgf/cm^2*2* 0.32cm*50cm+10*10^{4}kgf/cm^2*6.8cm *50cm)/10*10^{4}kgf/cm^2=12.0 tf	
載荷ステップ		1 tf	同　　左	
計測項目共通		・荷　重　・ひび割れ状況 ・供試体変位　・ｺﾝｸﾘｰﾄ強度 ・主鉄筋歪み　・鉄筋強度	・荷　重　・ひび割れ状況 ・供試体変位　・ｺﾝｸﾘｰﾄ強度 ・鉄筋強度	
計測項目個別		・角鋼管歪み　□-200*100*4.5 ・角鋼管変形状況 ・ﾓﾙﾀﾙ歪み	・角鋼管歪み　□-125*75*3.2 ・角鋼管変形状況 ・ﾓﾙﾀﾙ歪み	

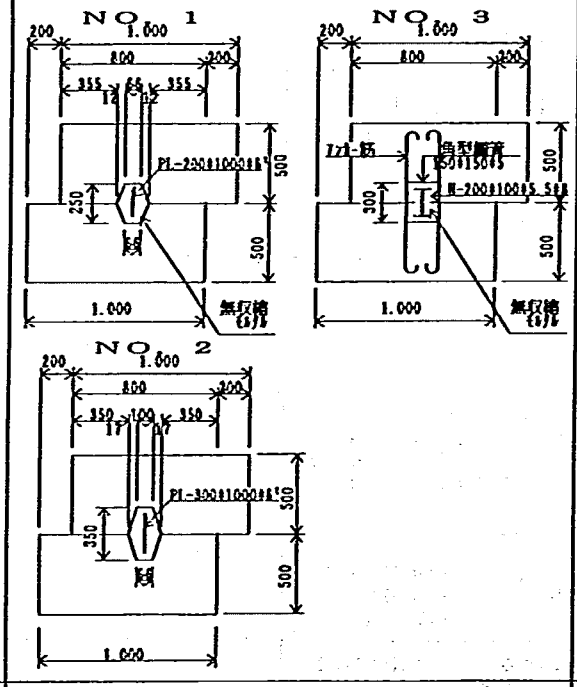
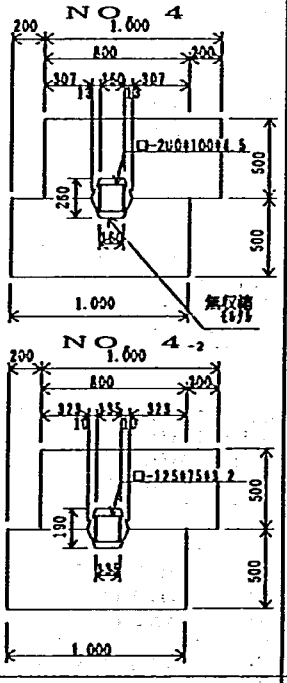
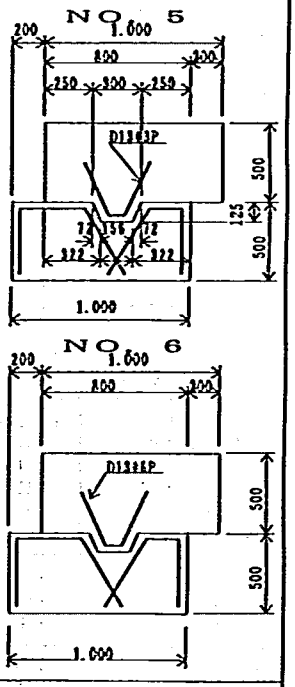
注) 一般部許容荷重 V (常時) = τca*B*d=5.5kgf/cm^2*50cm*72cm=19.8 tf

表－３．１．３　せん断キー試験概要(３)

		5 コンクリート製キー(1)	6 コンクリート製キー(2)	
供試体概要図				
	共通諸元	・載荷断面寸法；B*L=50cm*80cm ・コンクリート強度；σ_{ck}=400kgf/cm^2 ・主　鉄　筋；D13, D16	同　　左	
	個別諸元			
事前計算値	許容荷重(常時)	V=A_s*0.8*h*σ_{sa}/a =3*1.267cm^2*0.8*30cm*1800kgf/cm^2 /6.25cm =26.3 tf	V=A_s*0.8*h*σ_{sa}/a =5*1.267cm^2*0.8*30cm*1800kgf/cm^2 /6.25cm =52.5 tf	
載荷ステップ		1 tf	同　　左	
計測項目共通		・荷　重　　・ひび割れ状況 ・供試体変位　・コンクリート強度 ・主鉄筋歪み　・鉄筋強度	・荷　重　　・ひび割れ状況 ・供試体変位　・コンクリート強度 ・主鉄筋歪み　・鉄筋強度	
計測項目個別		(D13 * 3P =3.801 cm^2)	(D13 * 6P =7.602 cm^2)	

注）一般部許容荷重 V（常時）=τca*B*d=5.5kgf/cm^2*50cm*72cm=19.8 tf

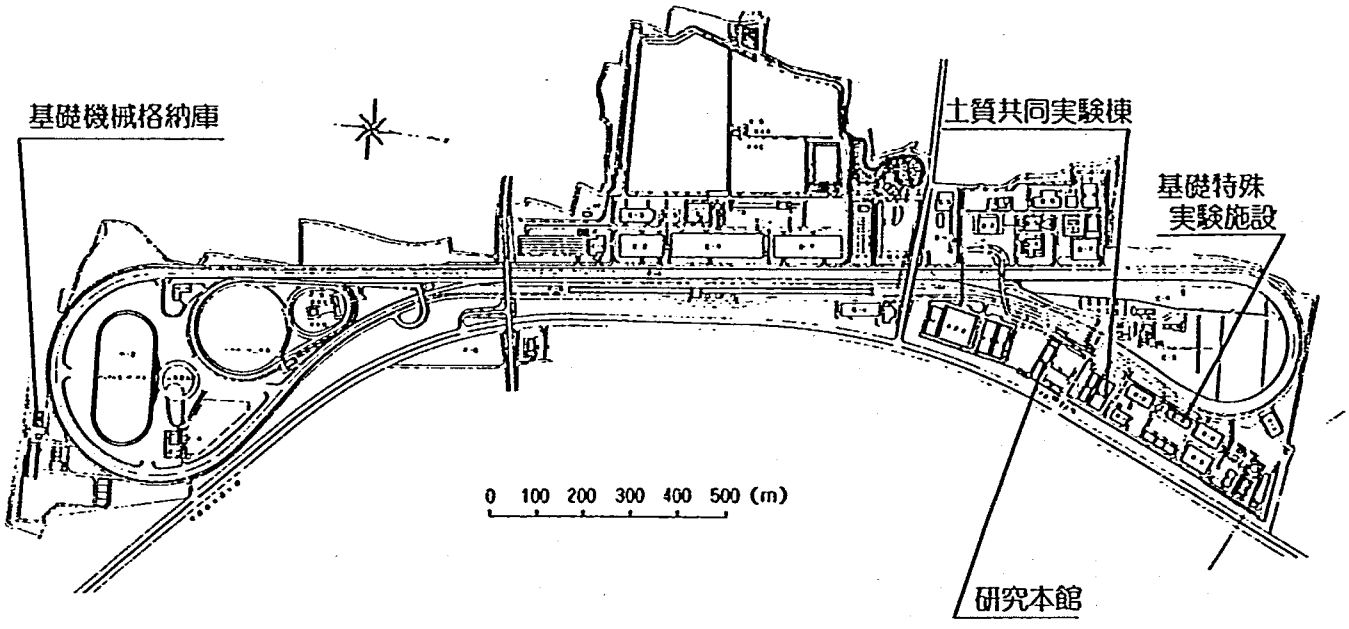
表－３．１．４　せん断キー試験供試体一覧

タイプ	鋼製平板キー	角鋼管キー	コンクリート製キー
供試体概要図			
供試体数	3	2	2

３．１．３　実験場所、載荷装置および実験工程

実験は、建設省土木研究所土質共同実験棟に設置されている万能試験機を用いて実施した。

図－３．１．２に土質共同実験棟位置図を、図－３．１．３に万能試験機概要図を示した。



図－３．１．２　建設省土木研究所 土質共同実験棟

また、表－３．１．５に供試体製作を含めた実験工程表を併せて示してある。

万能試験機

この試験機は、電気・油圧サーボで制御される鉛直・水平方向のジャッキを装備しており、それぞれの単独載荷および同時載荷ができ、高精度の荷重・変位試験が可能である。この試験機では、例えば、軸力を受ける柱部材の交番水平載荷試験・橋座の水平載荷試験・梁の曲げ試験などの下部構造物に関する各種模型載荷試験が可能である。

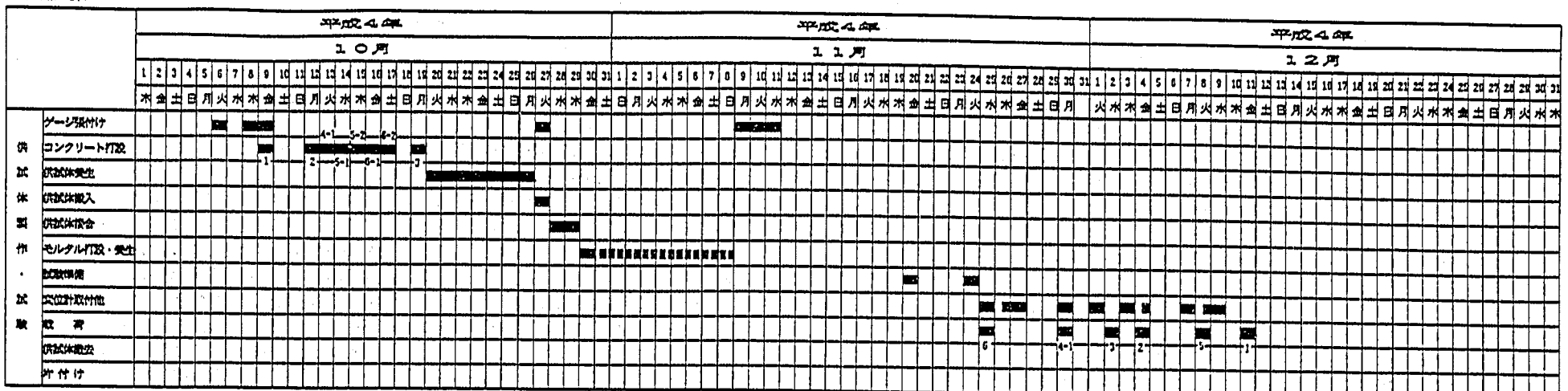


ベッドフレーム：縦6.1m×横2.7m×高さ0.8m
水平反力台：縦1.3m×横1.74m×高さ1.85m
鉛直ジャッキ　最大荷重：500ｔ(圧縮)、150ｔ(引張)　最大変位：300㎜
水平ジャッキ　最大荷重：150ｔ(圧縮)　最大変位：200㎜(圧縮)
（交番載荷時）最大荷重：50ｔ　最大変位：±100㎜
(二方向載荷時）最大荷重：150ｔ(鉛直)、150ｔ(水平)
最大供試体寸法：縦1.5m×横1.0m×高さ1.5m程度

図－３．１．３　万能試験機

表－３．１．５　オープンケーソン継手せん断キー実験実施工程表

供試体製作 計：



3．1．4　試験供試体と使用材料

実験に使用した供試体構造図を表－3．1．6に示す図番号にそれぞれを示した。

表－3．1．6　供試体構造図番表

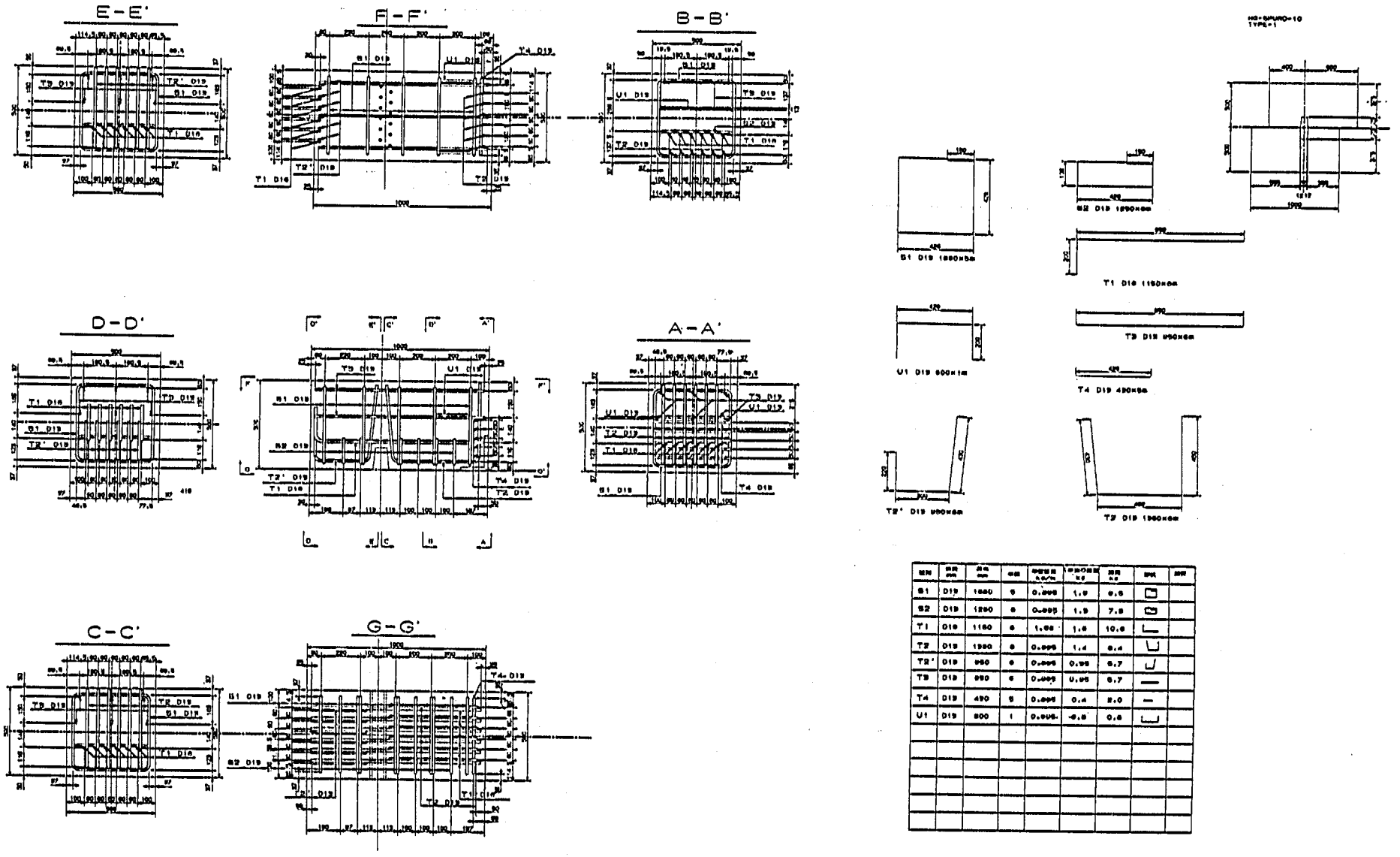
キーの種類		図　番　号
鋼製平板	鋼製平板キー(1)	図－3．1．4
	〃 (2)	図－3．1．5
	〃 (3)	図－3．1．6
角鋼管	角鋼管キー (1)	図－3．1．7
	〃 (2)	図－3．1．8
コンクリート	ｺﾝｸﾘｰﾄ製ｷｰ(1)-1	図－3．1．9
	〃 (1)-2	図－3．1．10
	ｺﾝｸﾘｰﾄ製ｷｰ(2)-1	図－3．1．11
	〃 (2)-2	図－3．1．12

また、供試体コンクリートの示方配合を、表－3．1．7に示した。

表－3．1．7　示方配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水ｾﾒﾝﾄ比:W/C (%)	細骨材率:S/a (%)	単位量 (kgf/m³)				
					水	ｾﾒﾝﾄ	細骨材	粗骨材	混和剤
20.0	8±2	2±1	41.0	42	164	400	758	1062	4.00

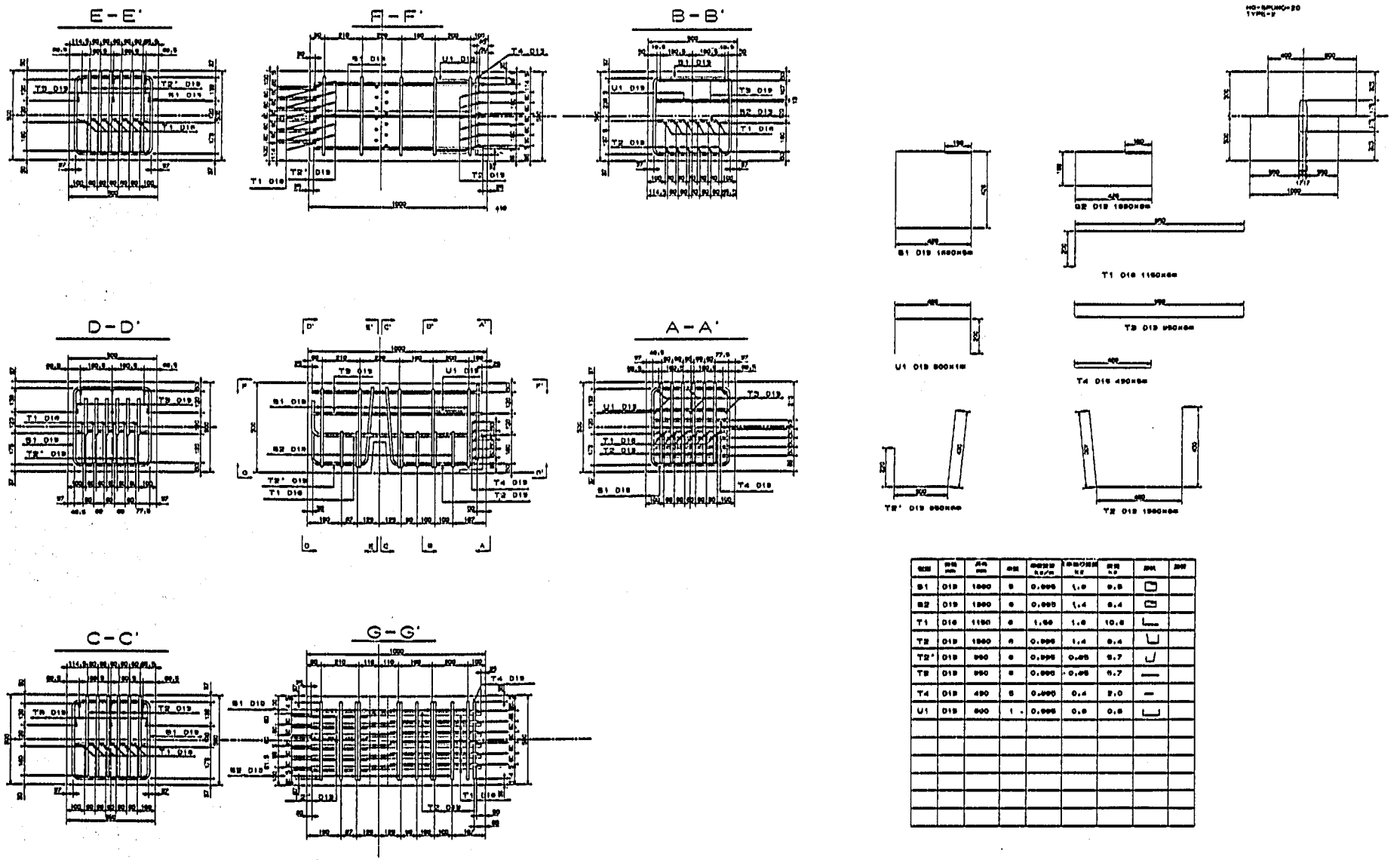
<供試体寸法>



記号	径 mm	長さ mm	本数	単位質量 kg/m	1本の質量 kg	総質量 kg	形状	備考
S1	D19	1960	6	0.995	1.9	9.6	□	
S2	D19	1290	6	0.995	1.3	7.8	□	
T1	D19	1150	6	1.00	1.0	10.0	⌐	
T2	D19	1980	6	0.995	1.4	8.4	⊔	
T2'	D19	950	6	0.995	0.95	5.7	⊔	
T3	D19	950	6	0.995	0.95	5.7	—	
T4	D19	490	6	0.995	0.4	2.0	—	
U1	D19	800	1	0.995	0.8	0.8	⊔	

図－３．１．４　鋼製平板キー(1)

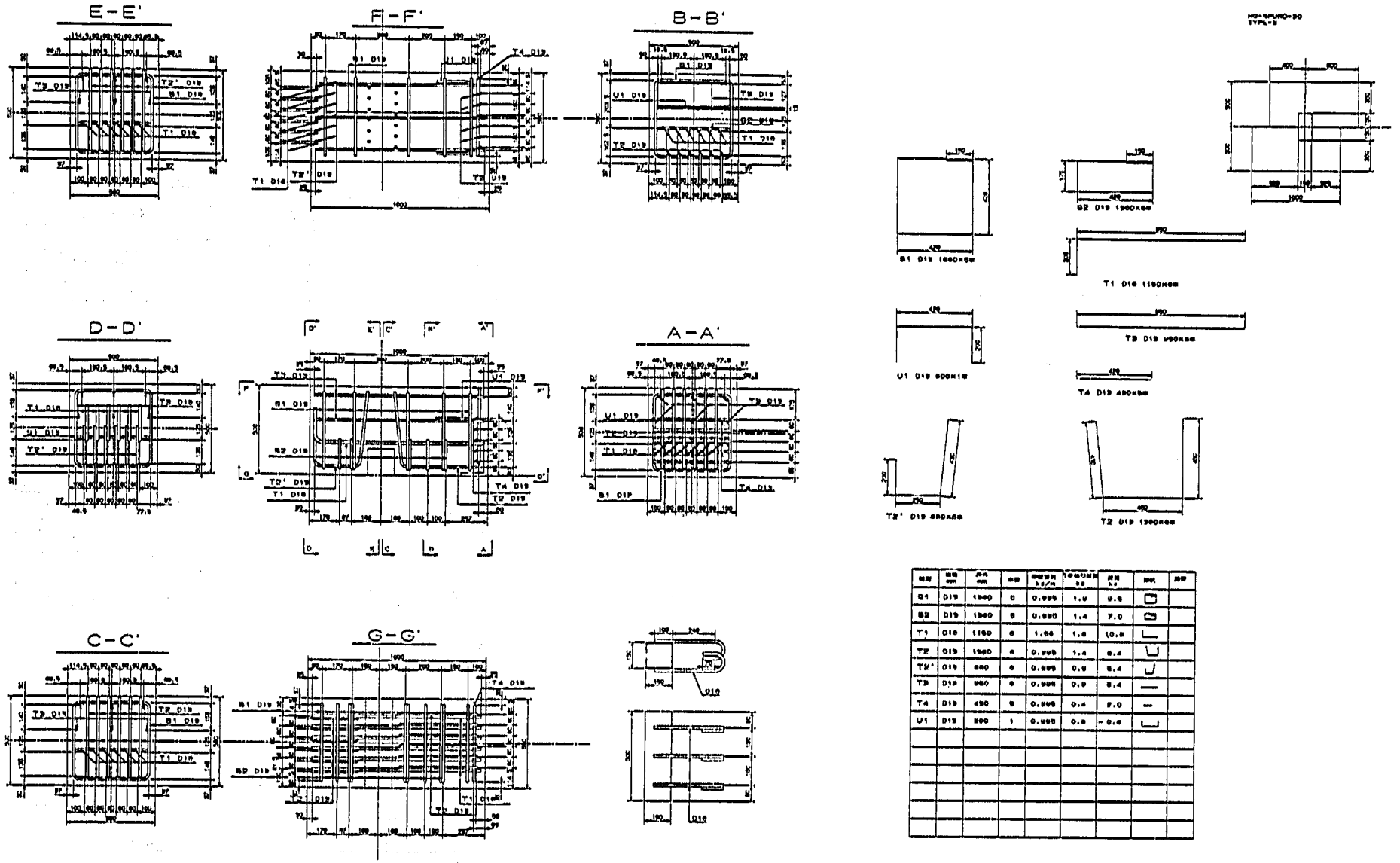
<供試体寸法>



記号	径 mm	長さ mm	本数	単位質量 kg/m	単位長さ当たりの質量 kg	質量 kg	形状	備考
S1	D19	1900	8	0.995	1.9	8.8	□	
S2	D19	1900	6	0.995	1.4	8.4	□	
T1	D16	1150	8	1.56	1.8	10.8	L	
T2	D19	1900	6	0.995	1.4	8.4	⊔	
T2'	D19	950	6	0.995	0.95	5.7	⊔	
T3	D19	950	6	0.995	0.95	5.7	—	
T4	D19	450	6	0.995	0.4	2.0	—	
U1	D19	900	1	0.995	0.9	0.9	⊔	

図－３．１．５　鋼製平板キー(2)

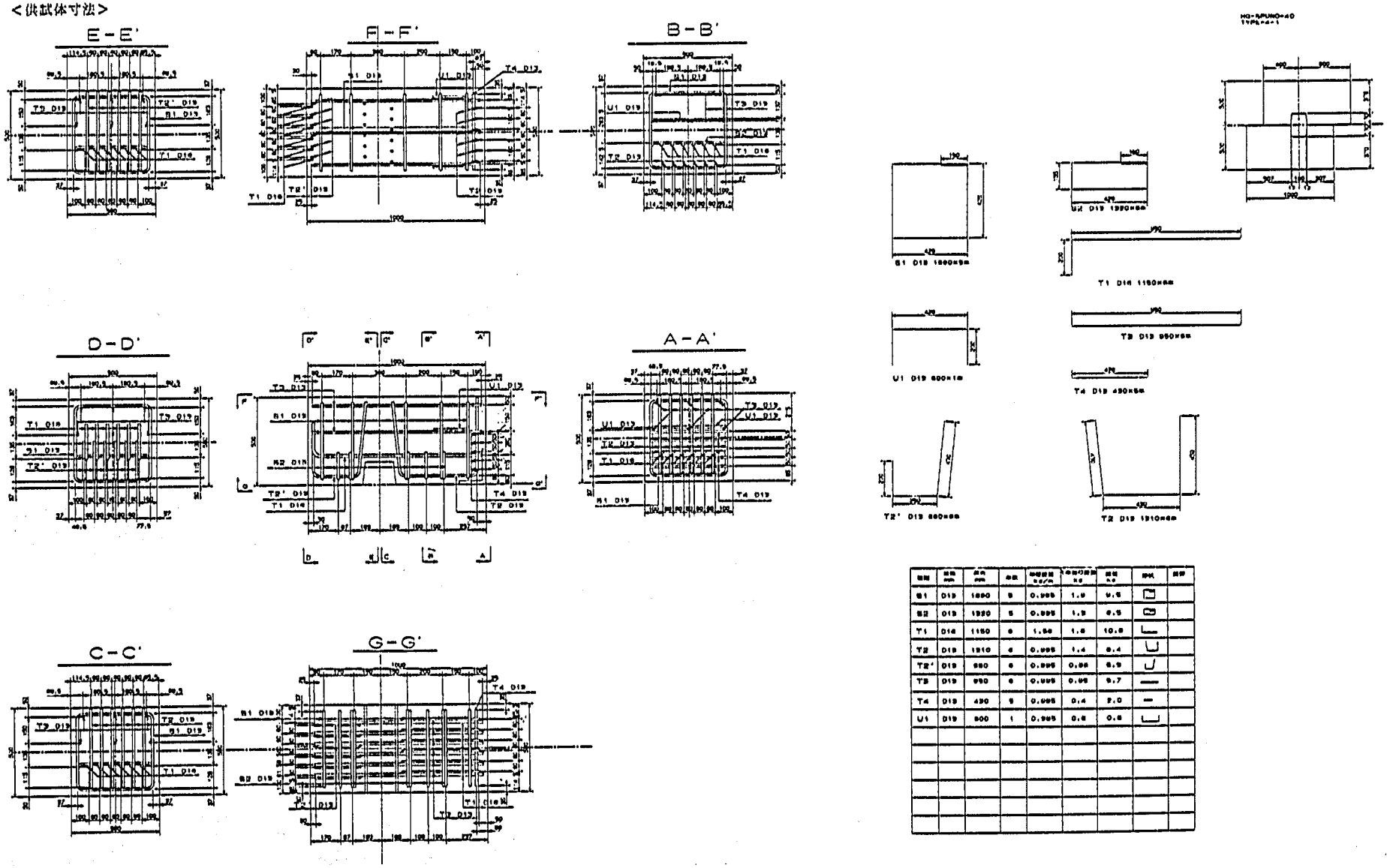
<供試体寸法>



記号	径 mm	長さ mm	本数	単位質量 kg/m	1本の質量 kg	質量 kg	形状	備考
S1	D19	1960	5	0.995	1.9	9.5		
S2	D19	1960	9	0.995	1.4	7.0		
T1	D16	1150	6	1.56	1.8	(0.9		
T2	D19	1960	6	0.995	1.4	8.4		
T2'	D19	960	6	0.995	0.9	5.4		
T3	D19	960	6	0.995	0.9	5.4		
T4	D19	450	5	0.995	0.4	2.0		
U1	D19	500	1	0.995	0.5	- 0.5		

図－３．１．６　鋼製平板キー(3)

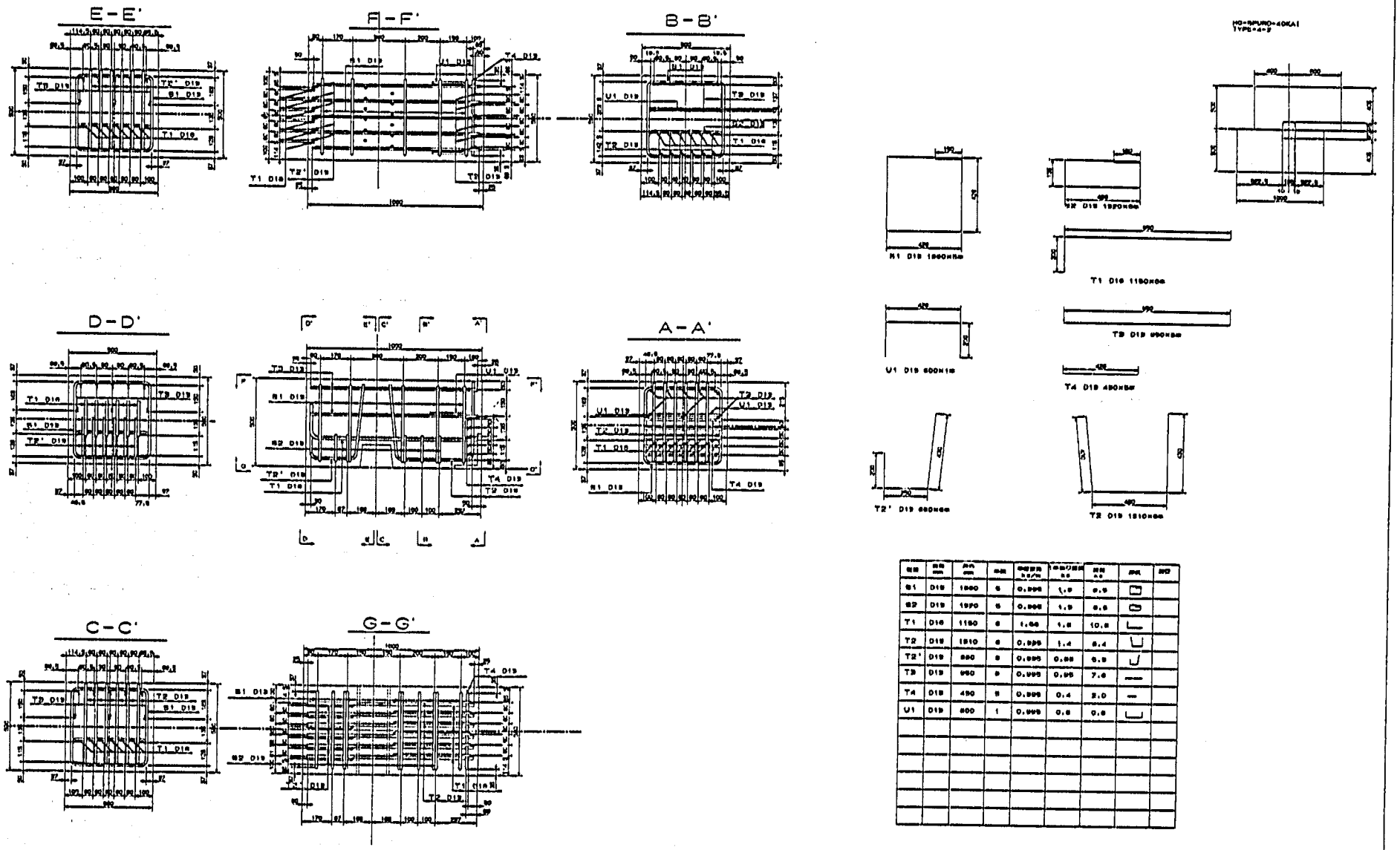
<供試体寸法>



記号	径	長さ	本数	単位質量	単位重量	質量	形状	備考
S1	D13	1890	5	0.995	1.9	9.5	□	
S2	D13	1930	5	0.995	1.9	9.5	□	
T1	D16	1150	6	1.56	1.8	10.8	L	
T2	D13	1310	4	0.995	1.4	5.4	U	
T2'	D13	880	6	0.995	0.88	5.9	U	
T3	D13	950	6	0.995	0.95	5.7	—	
T4	D13	430	5	0.995	0.4	2.0	—	
U1	D13	600	1	0.995	0.6	0.6	L	

図－３．１．７　角鋼管キー(1)

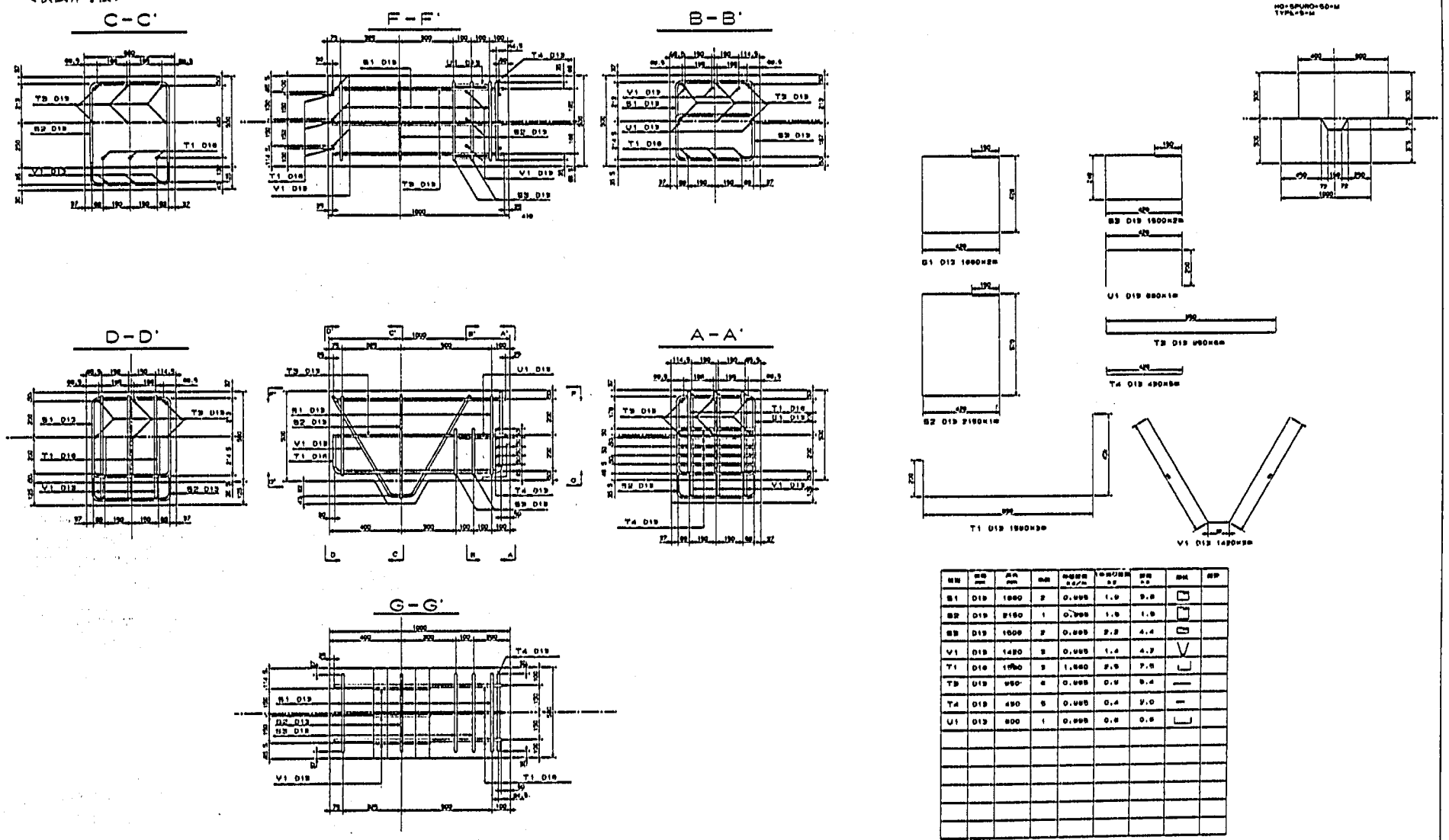
<供試体寸法>



記号	径 mm	長さ mm	本数	単位質量 kg/m	1本の質量 kg	総質量 kg	形状	備考
S1	D19	1990	6	0.995	1.9	11.9	□	
S2	D19	1970	6	0.995	1.9	11.8	□	
T1	D19	1150	6	1.56	1.8	10.8	⌊	
T2	D19	1810	6	0.995	1.4	8.4	⌊⌋	
T2'	D19	880	6	0.995	0.88	5.3	⌊⌋	
T3	D19	950	9	0.995	0.95	7.6	—	
T4	D19	450	6	0.995	0.4	2.0	—	
U1	D19	600	1	0.995	0.6	0.6	⌊⌋	

図－３．１．８　角鋼管キー(2)

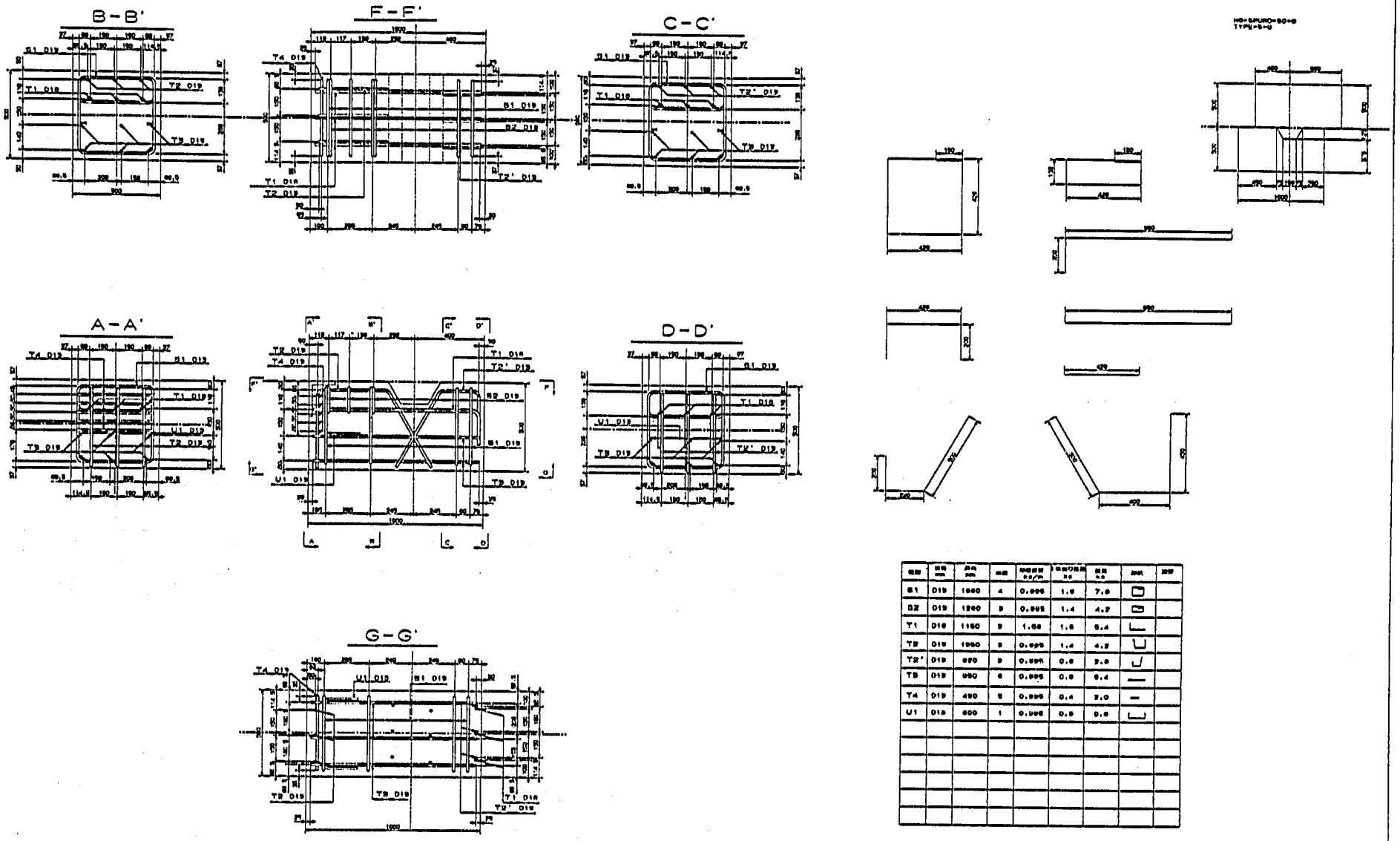
<供試体寸法>



符号	径	長さ mm	本数	単位質量 kg/m	質量 kg	形状寸法	摘要
S1	D13	1990	2	0.995	1.9	9.8	
S2	D13	2150	1	0.995	1.9	1.9	
S3	D13	1000	2	0.995	2.2	4.4	
V1	D13	1420	3	0.995	1.4	4.2	
T1	D16	1990	3	1.560	2.9	7.8	
T3	D13	950	4	0.995	0.9	3.4	
T4	D13	450	5	0.995	0.4	2.0	
U1	D13	800	1	0.995	0.8	0.8	

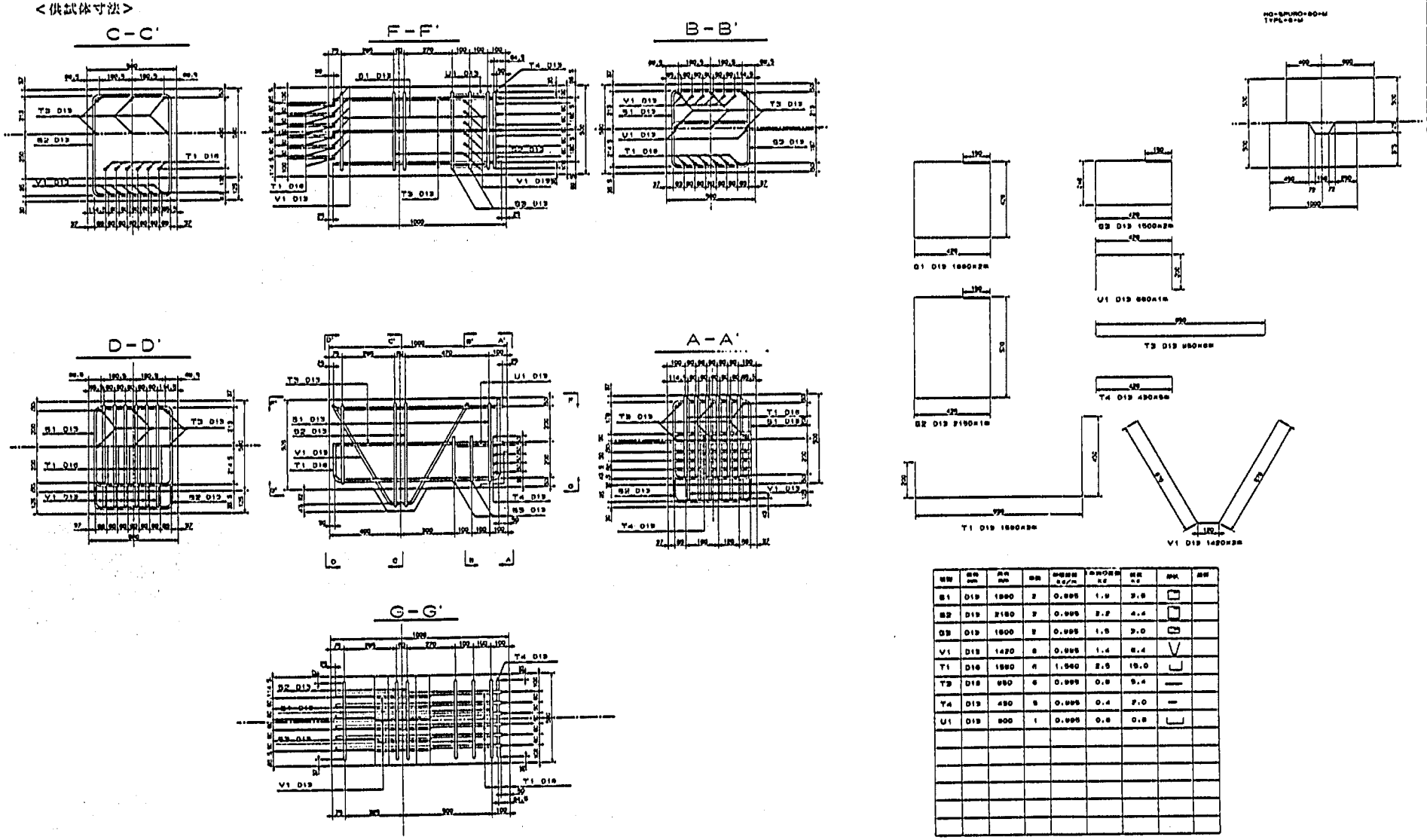
図－３．１．９　コンクリート製キー(1-1)

<供試体寸法>



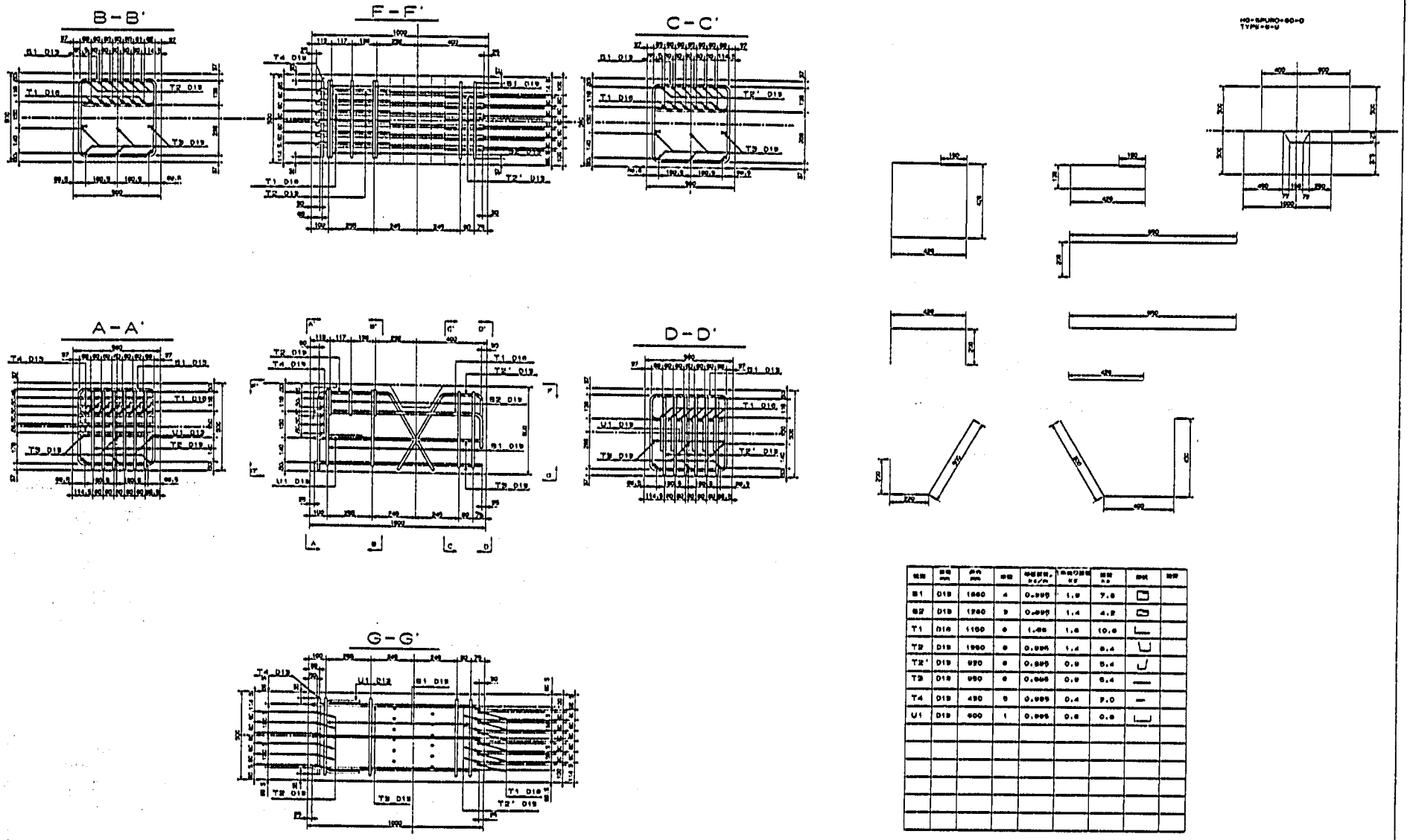
記号	径 mm	長さ mm	本数	単位質量 kg/m	総質量 kg	断面積 cm²	形状	備考
S1	D19	1960	4	0.995	1.9	7.9	□	
S2	D19	1260	3	0.995	1.4	4.7	□	
T1	D19	1160	3	1.56	1.8	5.4	⌐⌐	
T2	D19	1960	3	0.995	1.4	4.2	⌐⌐	
T2'	D19	970	3	0.995	0.9	2.9	⌐	
T3	D19	950	6	0.995	0.9	5.4	—	
T4	D19	490	3	0.995	0.4	2.0	—	
U1	D19	600	1	0.995	0.6	0.6	⌐	

図－３．１．１０　コンクリート製キー(1-2)



図－３．１．１１　コンクリート製キー(2-1)

<供試体寸法>



記号	径 mm	長さ mm	本数	単位質量 kg/m	1本の質量 kg	総質量 kg	形状	備考
S1	D19	1960	4	0.995	1.9	7.8	□	
S2	D19	1260	3	0.995	1.4	4.2	□	
T1	D19	1150	6	1.05	1.0	10.6	⌐¬	
T2	D19	1960	3	0.995	1.4	8.4	⌐¬	
T2'	D19	920	6	0.995	0.9	5.4	⌐¬	
T3	D19	950	6	0.995	0.9	5.4	—	
T4	D19	450	5	0.995	0.4	2.0	—	
U1	D19	400	1	0.995	0.4	0.4	⌐¬	

図－３．１．１２　コンクリート製キー(2-2)

3．1．5　実験方法と計測項目

(1) せん断キーの製作および供試体の接合

供試体の製作では、せん断キー部の確実な接合を行うため、「コンクリート製キー」についてはコンクリート打設面を型枠とするマッチキャスト型枠にて製作を行った。他の種類の継手については通常の型枠打設で行った。

硬化した供試体の接合にあたっては、せん断キーのみの性状を把握する目的のため、コンクリートの接合面にはテフロン板を敷設することとし、下記の手順にて接合するとともに、せん断キーを製作した。

①接着剤塗布面（テフロン板接着面）をベビーサンダーにて十分にケレンし、レイタンス等を除去するとともに、不陸を整正した。

②接着剤塗布面をアセトンにてきれいに洗浄し表面が乾燥した後、接着剤を塗布する。

③あらかじめ供試体の形状にあわせて切断しておいたテフロン板を上下ブロック各々敷き並べ、接着する。

④部材固定用のブラケットを取付け、ボルトを締め付けることにより供試体とテフロン板とを一体化し接着する。

⑤コンクリート製キー以外のせん断キーについて鋼板や角鋼管のせん断キーを正規の位置に設置し、モルタル漏れ防止を施し、無収縮モルタル（アーマ510）を打設する。

表－3．1．8に無収縮モルタルの材料を示す。

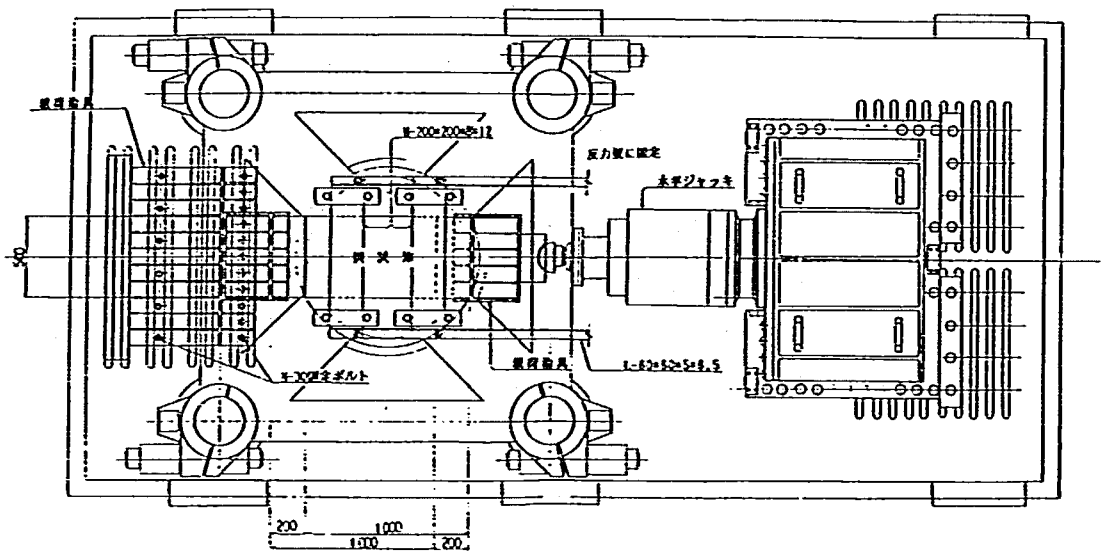
表－3．1．8　コンクリート接合継手使用材料

用　途	商　品　名	メーカー	材　料　試　験
ブロック接合用 無収縮モルタル	ＭＣＲアーマ ＃５１０	三菱工業 セメント㈱	平均圧縮強度 ：σ＝ 517 (kgf/cm²)

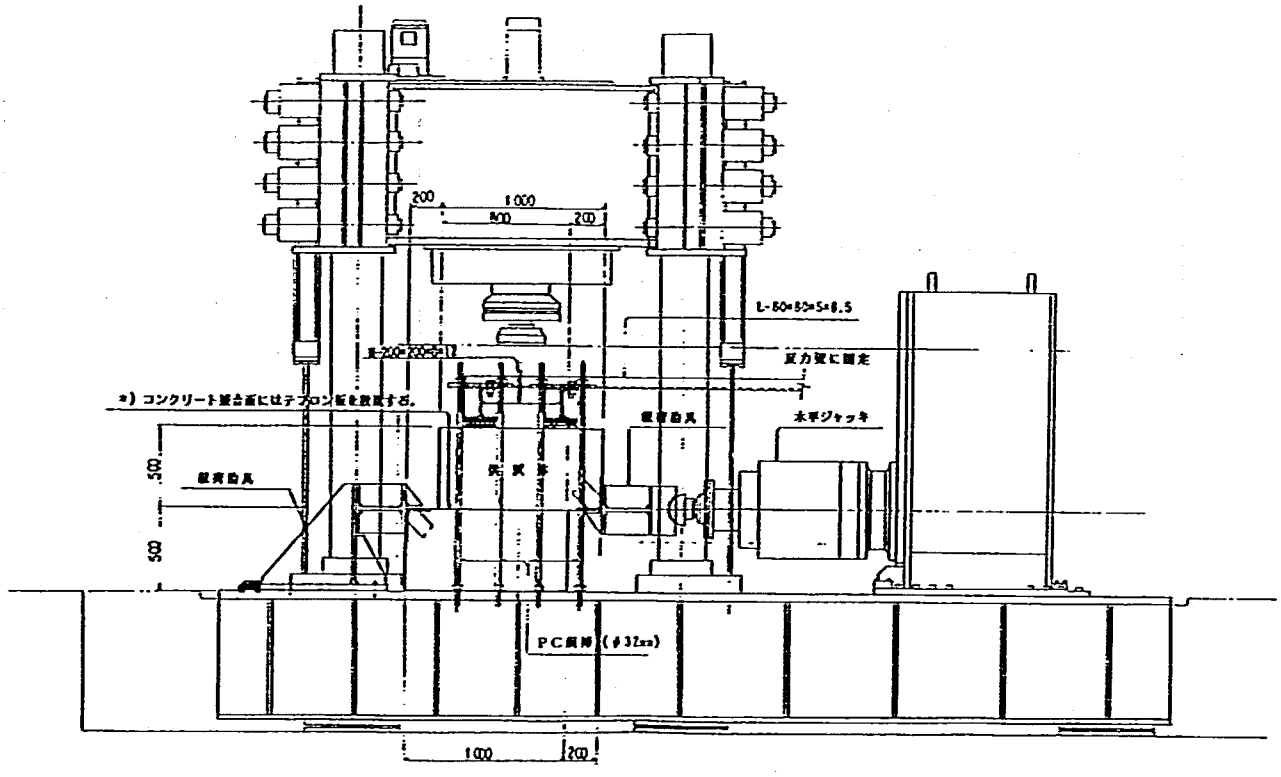
(2) 載荷方法

載荷は、図－３．１．１３～図－３．１．１４に示す載荷装置により「一方向単調載荷」にて行った。載荷パターンは基本的に1.0(tf) ピッチ程度にて単調増加載荷とするが、ひびわれ発生などの状況にあわせ適宜変更することとした。

実験では、せん断時の水平移動に伴う浮き上がりを防止するため、ＰＣ鋼棒を図の様に配置した。



図－２．１．１３　せん断キー実験載荷装置（平面）



図－２．１．１４　せん断キー実験載荷装置（側面）

(3) 計測項目

計測項目および計測方法は表－３．１．９の通りである。

表－３．１．９　計測項目および計測方法

計測項目	鋼製平板キー	角鋼管キー	ｺﾝｸﾘｰﾄ製キー	計　測　方　法	図　番
荷　　重	○	○	○	ロードセルによる	
供試体変位	○	○	○	変位計による	図－3.1.15 ～ 図－3.1.21
鉄筋ひずみ	○	○	○	ひずみゲージによる	
ｺﾝｸﾘｰﾄひずみ	○	○	○	ひずみゲージによる	
ﾓﾙﾀﾙひずみ		○		ひずみゲージによる	図－3.1.15 ～ 図－3.1.19
鋼製平板歪	○			ひずみゲージによる	
角鋼管ひずみ		○		ひずみゲージによる	
ひびわれ状況	○	○	○	目視、写真、ＶＴＲ等	
ｺﾝｸﾘｰﾄ強度／弾性係数 ※1)	○	○	○	供試体打設時に作成する円柱供試体（３本）(JIS-A1108, A1132)	$\sigma_{3,7,28}$及び載荷日 (3×4=12)
モルタル強度／弾性係数 ※2)	○	○		供試体打設時に作成する円柱供試体（３本）(JIS-A1108, A1132)	$\sigma_{3,7,28}$及び載荷日 (3×4=12)
鉄筋強度／弾性係数	○	○	○	代表主鉄筋で実施 (JIS-Z2210, Z2241)	
ＰＣ鋼棒歪／弾性係数	○	○	○	ひずみゲージによる	

※1) 供試体本体のコンクリート強度試験は、載荷試験日に行う。

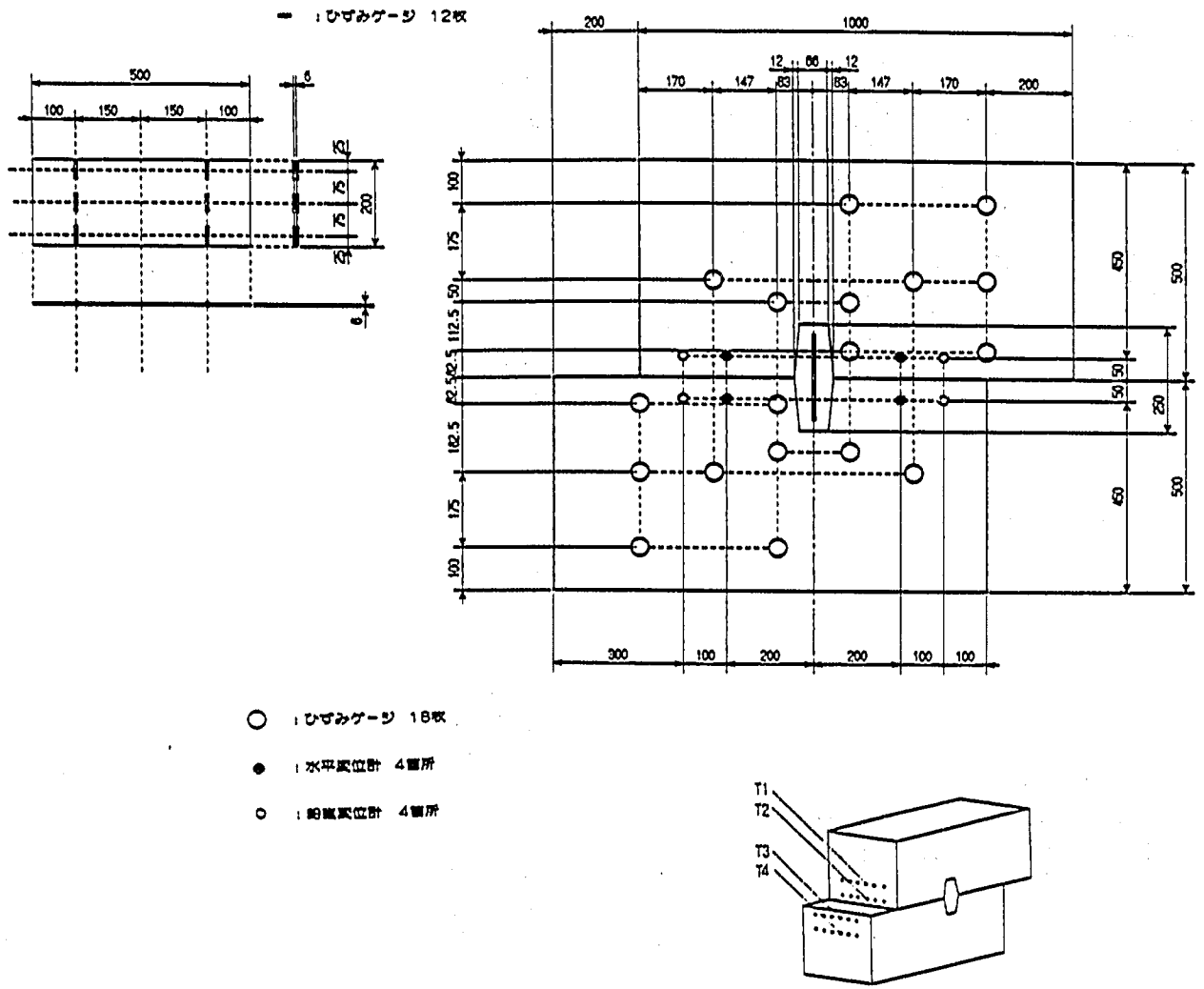
※2) 「鋼製平板キー」および「角鋼管キー」供試体に関しては、供試体本体のコンクリート強度試験に加え、充填モルタルおよび周辺モルタルの試験を材令3, 7, 28および載荷日に試験する。

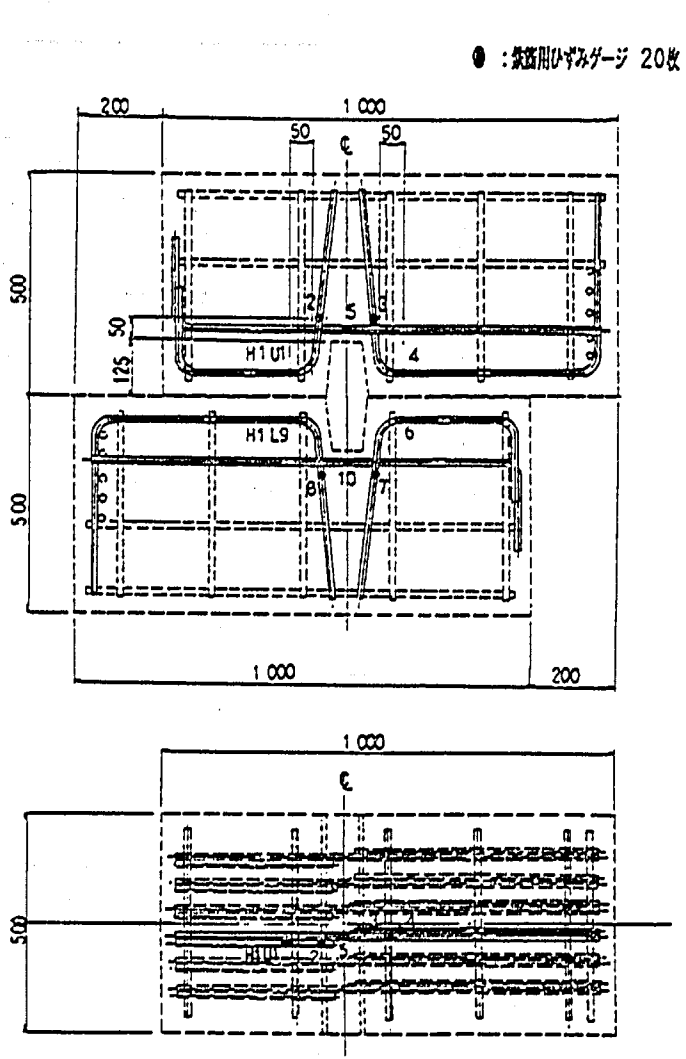
各供試体における計測位置

鋼製平板キー　（１）
NO．1

<変位及びｺﾝｸﾘｰﾄ歪計測位置図>

<鉄筋歪計測位置図>



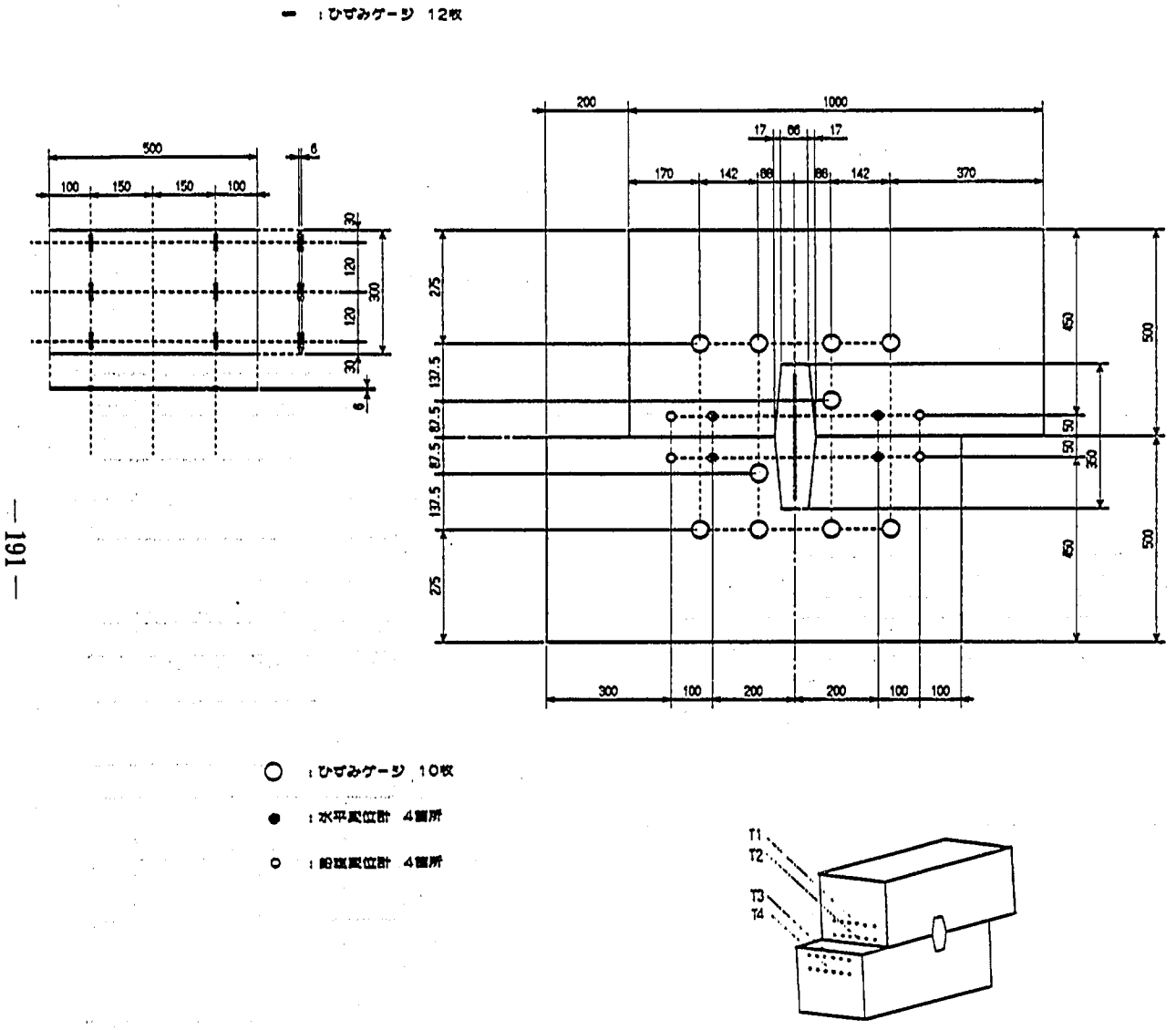


図－３．１．１５　鋼製平板キー(1)

鋼製平板キー （２）
NO．2

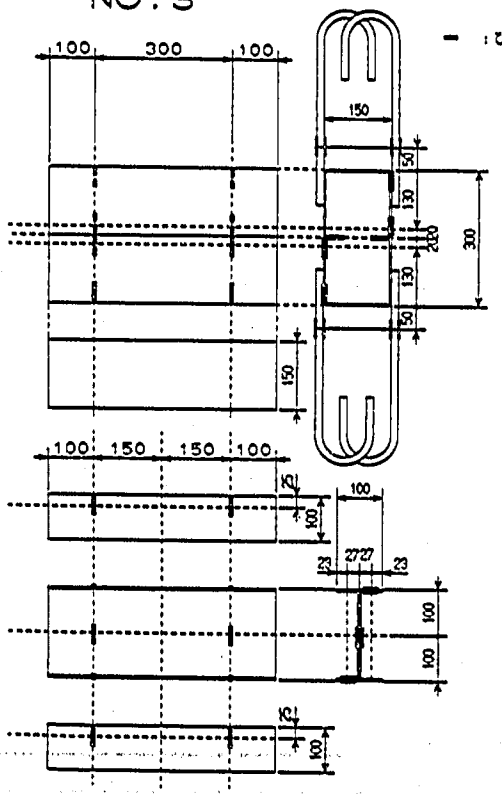
<変位及びｺﾝｸﾘｰﾄ歪計測位置図>

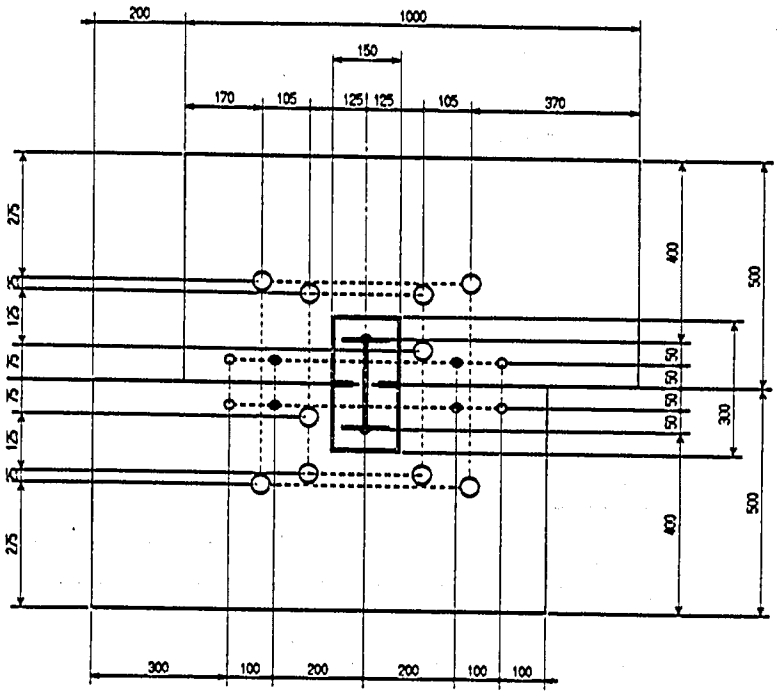
<鉄筋歪計測位置図>

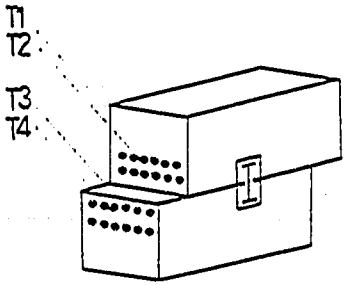


図－３．１．１６　鋼製平板キー(2)

鋼製平板キー　（３）
NO.３







○　：ひずみゲージ　10枚

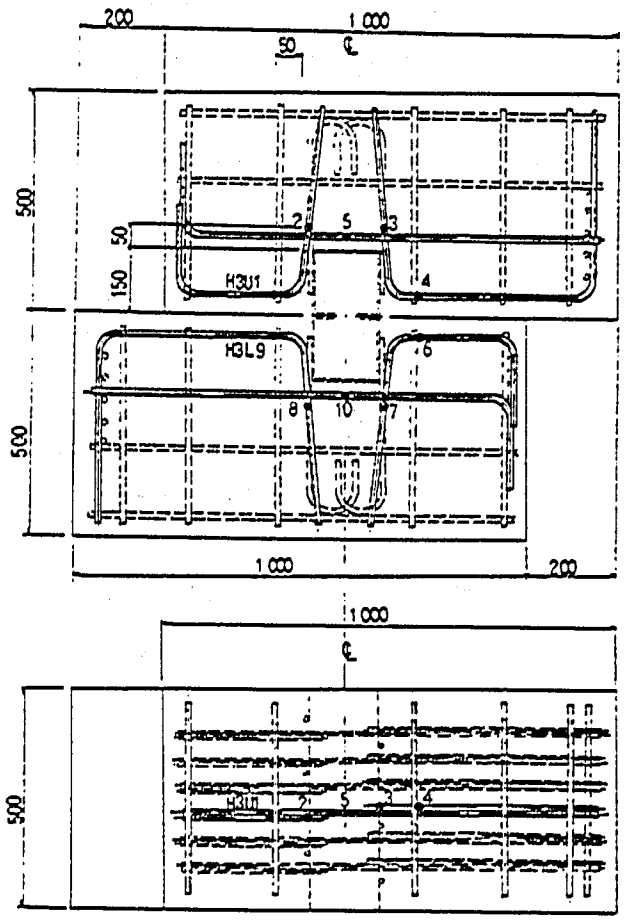
●　：水平変位計　6箇所

○　：鉛直変位計　6箇所

<変位及びｺﾝｸﾘｰﾄ歪計測位置図>

<鉄筋歪計測位置図>

●：鉄筋用ひずみゲージ　20枚

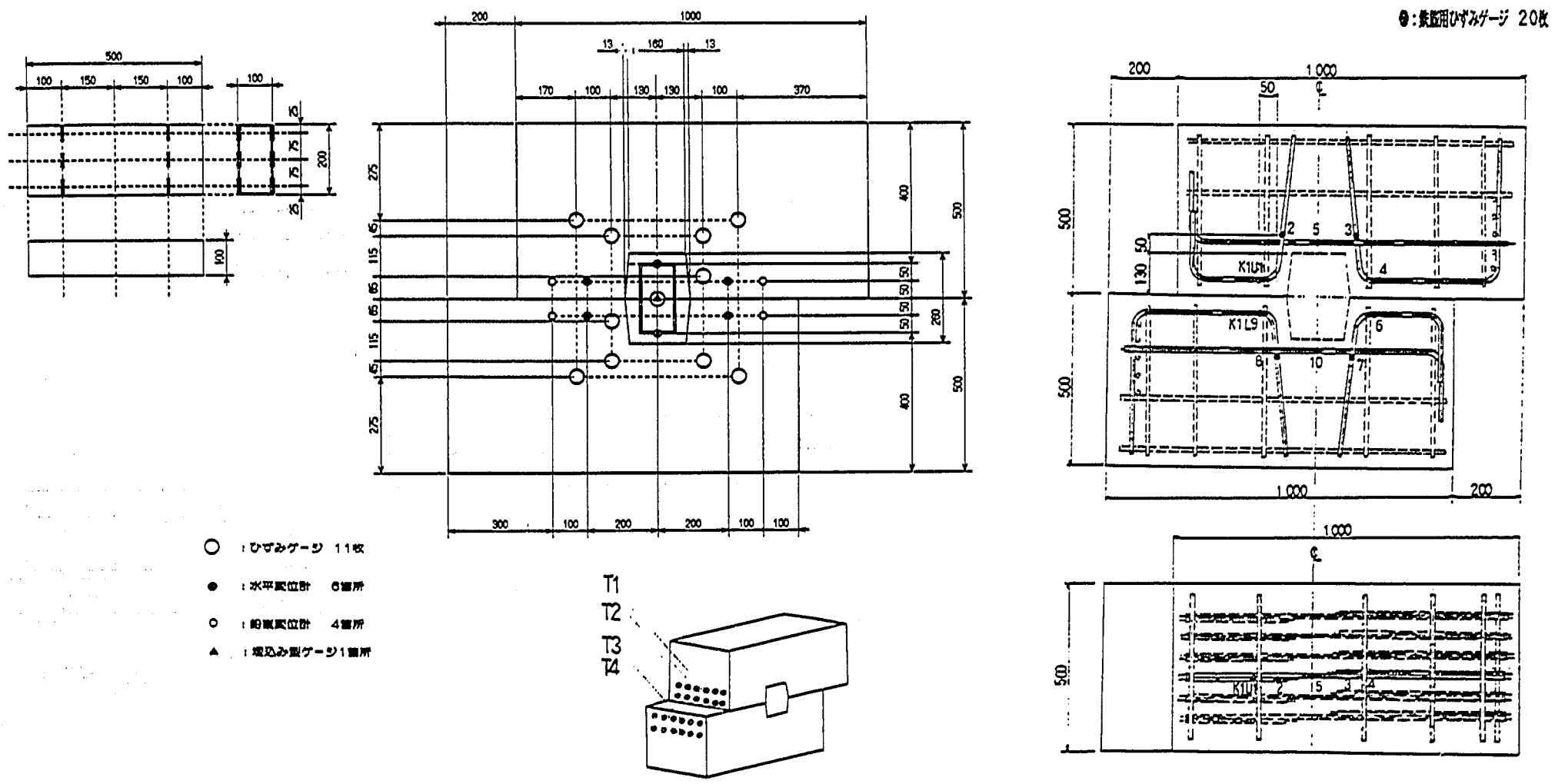


図－３．１．１７　鋼製平板キー(3)

角鋼管キー
NO．4－1

＜変位及びｺﾝｸﾘｰﾄ歪計測位置図＞

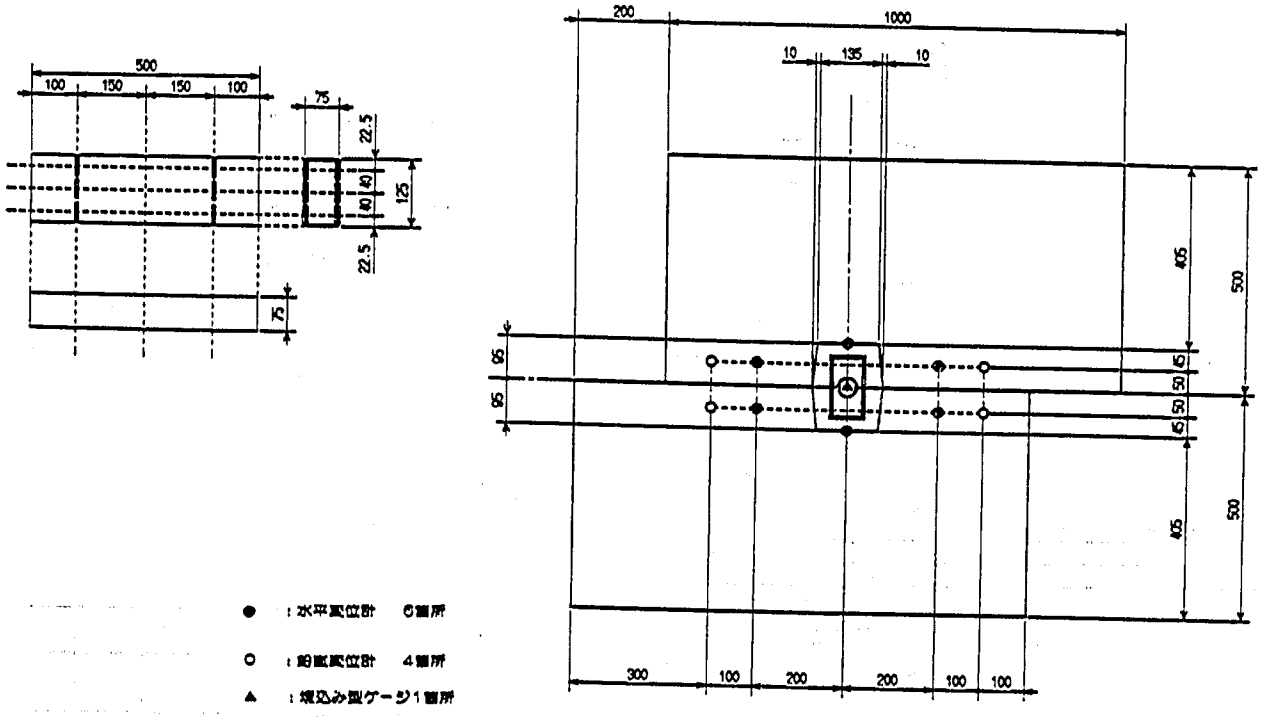
＜鉄筋歪計測位置図＞



図－３．１．１８　角鋼管キー(1)

角鋼管キー
NO.4-2

<変位及びｺﾝｸﾘｰﾄ歪計測位置図>

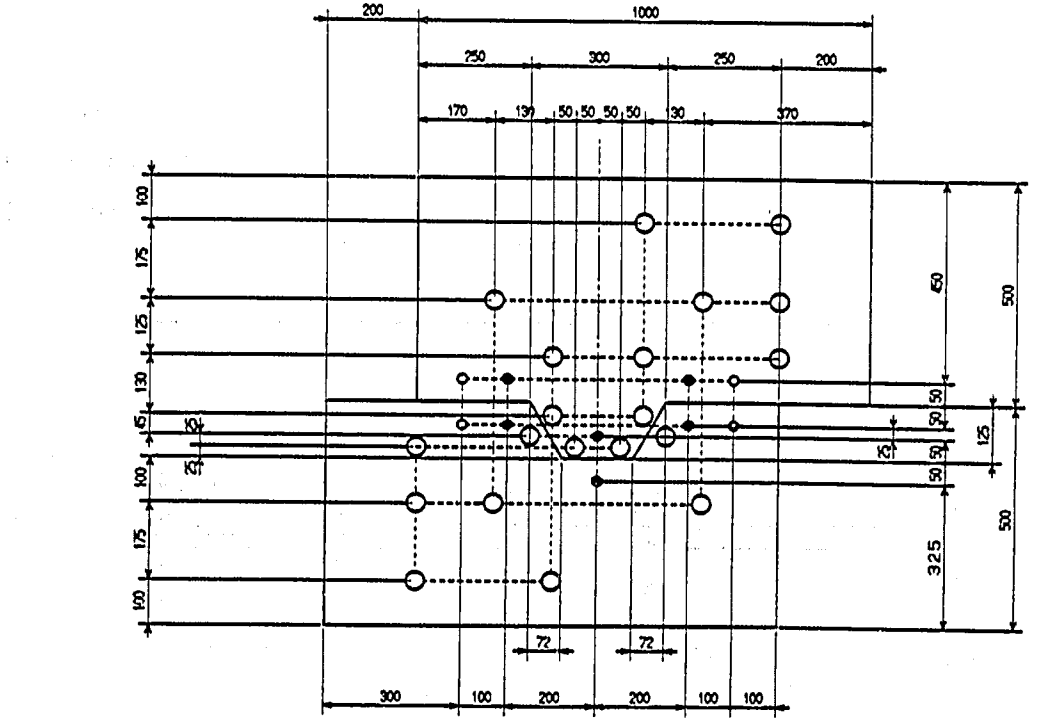


図－3.1.19 角鋼管キー(2)

コンクリート製キー
NO.5

<変位及びｺﾝｸﾘｰﾄ歪計測位置図>

<鉄筋歪計測位置図>

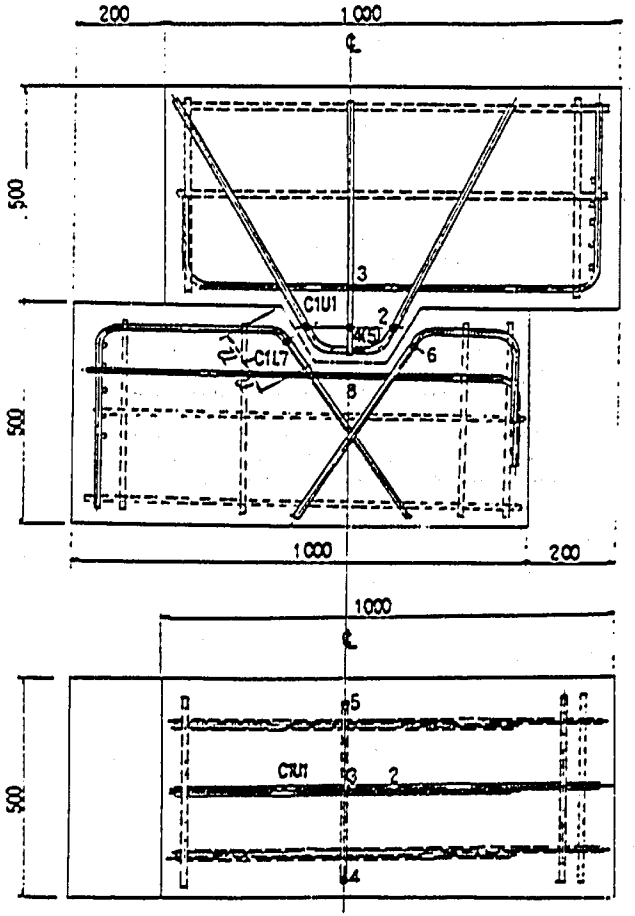


○ ：ひずみゲージ 20枚

● ：水平変位計 6箇所

○ ：鉛直変位計 4箇所

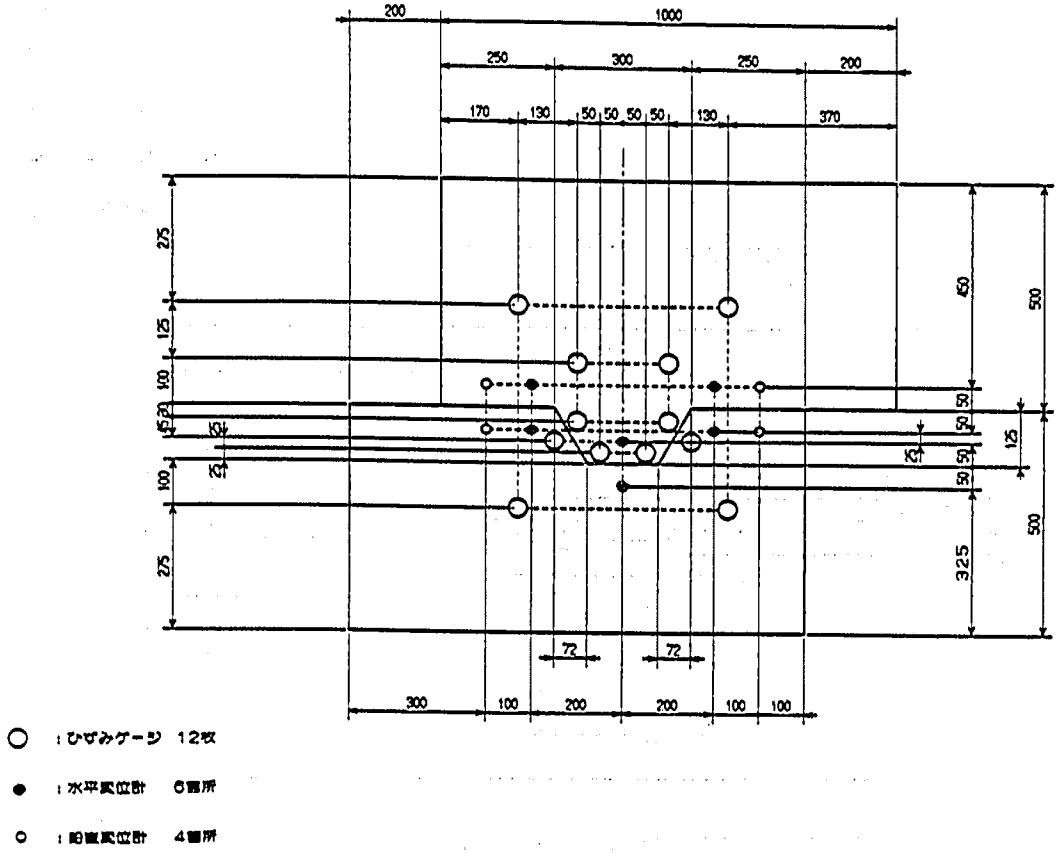
●：鉄筋用ひずみゲージ 16枚



図－3.1.20　コンクリート製キー(1)

コンクリート製キー
NO．6

＜変位及びｺﾝｸﾘｰﾄ歪計測位置図＞



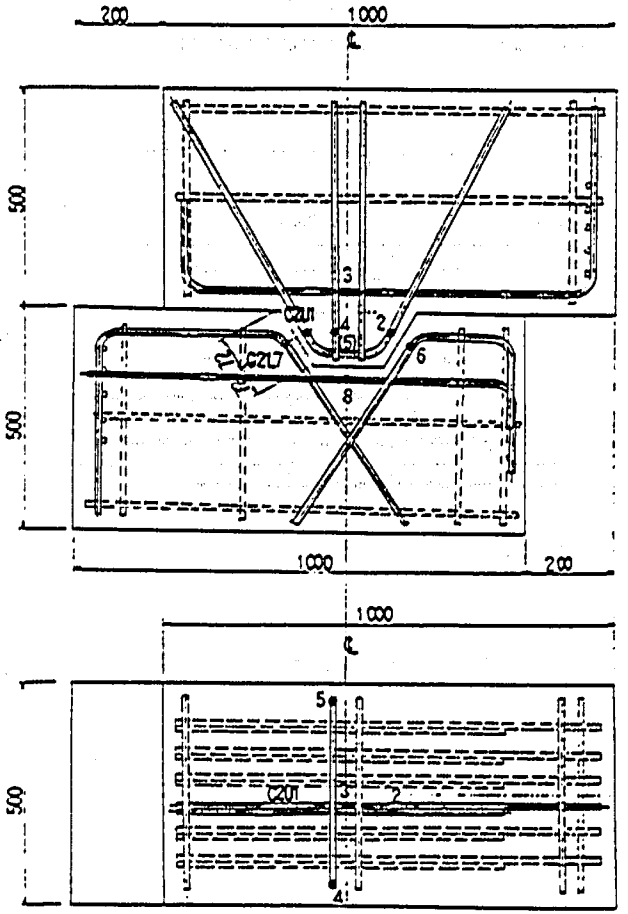
○ ：ひずみゲージ 12枚

● ：水平変位計 6箇所

○ ：鉛直変位計 4箇所

＜鉄筋歪計測位置図＞

●：鉄筋用ひずみゲージ 16枚



図－３．１．２１　コンクリート製キー(2)

3．2　実験結果および評価

3．2．1　試験結果

試験結果の一覧表をおよび関連図表を以下に示す。

(1)載荷試験結果一覧表

試験の結果を一覧表して表－3．2．1に示す。

表－3．2．1　せん断キー試験結果一覧表

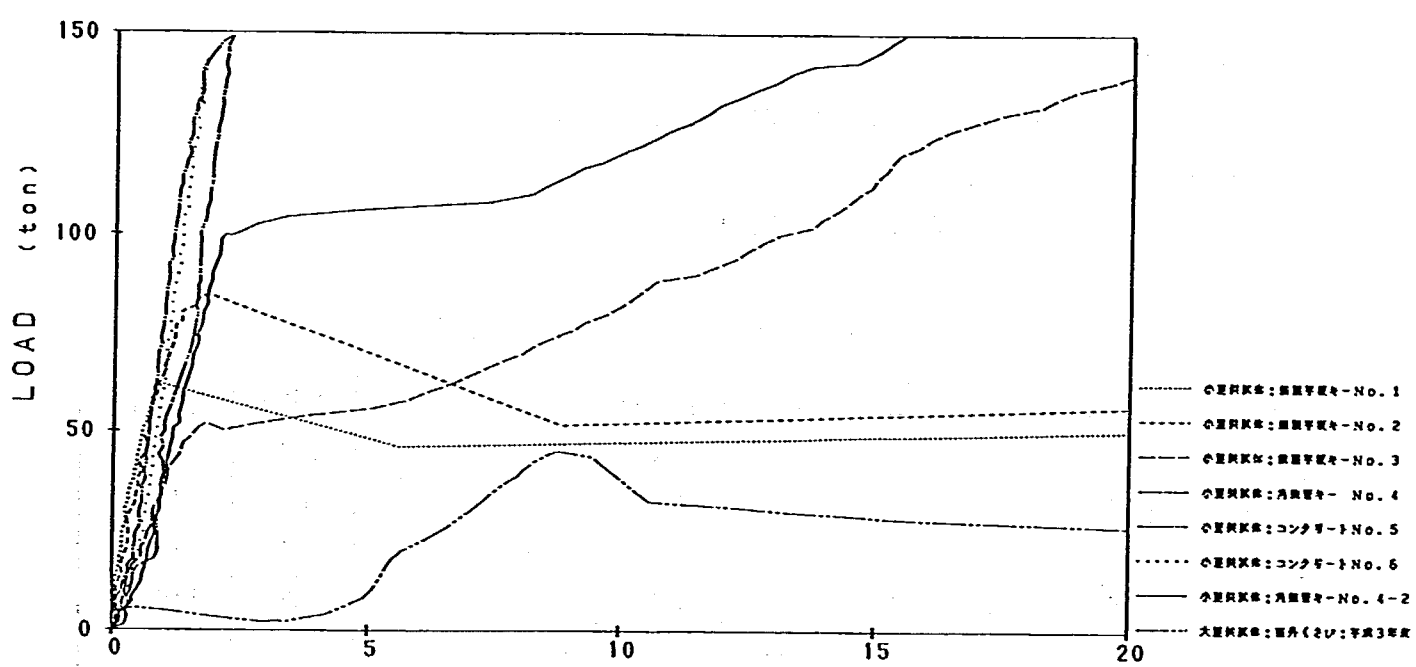
供試体名	せん断キー形状	せん断キー寸法	中詰材の強度	ｺﾝｸﾘｰﾄ強度	接着剤の有無	荷重1 (tf)	最大荷重 (tf)
No．1	鋼製平板	200*200*5.5	488	570	無	62	74.4
No．2	鋼製平板	300*300*5.6	494	572	無	84	84.4
No．3	鋼製平板	I-200*100*5.2*7.5　150*150*5	469	510	無	52	146.0
No．4	角鋼管	□-200*100*4.4	428	522	無	149	149.0
No.4-2	角鋼管	□-125* 75*3.2	468	550	無	100	149.0
No．5	ｺﾝｸﾘｰﾄ	125*300*156	鉄筋少	522	無	149	149.0
No．6	ｺﾝｸﾘｰﾄ	125*300*156	鉄筋多	408	無	147	147.4

*)中詰材（ﾓﾙﾀﾙ）及びｺﾝｸﾘｰﾄの強度：kgf/cm²

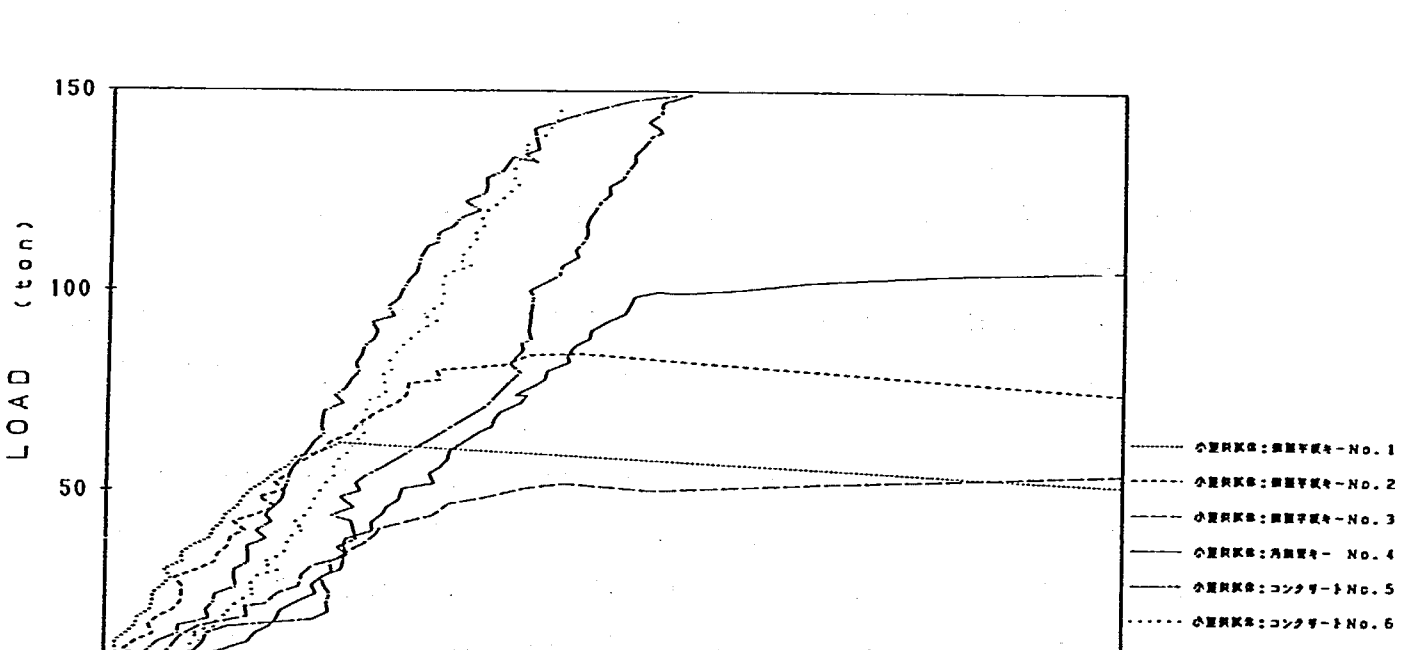
(2) 荷重－水平変位図

荷重－水平変位図を図－3．2．1に、またその微小変形時を図－3．2．2に拡大して示す。

No．1，2は荷重増加に伴って鋼板がS字型に変形したが、鋼板の埋込み長の違いにより鋼板の滑り出し始める荷重がそれぞれP＝62tf、P＝84tfとなった。これに対して、No．3はP＝52tfを超えたころから変位が大きくなり、H型鋼のWebの変形がC型鋼に拘束されたいるため、変位が20㎜を超えたところでH型鋼が破断した。また、No．4，5，6は今回の実験の載荷装置の能力最大（P＝150tf）まで載荷したにも拘らず、大きな水平変位は発生しなかった。但し、No．5は、約48tfからせん断方向にひび割れが発生した。また、No．4-2は、角鋼管の内外に充填されたモルタルの拘束力によりP＝100tfを超えるまではほとんど変形しなかったが、それを超えると角鋼管および充填モルタルのひずみ並びに水平変位が急激に進行した。



図－３．２．１　荷重 ～ 水平変位図（１）



図－３．２．２　荷重 ～ 水平変位図（２）

(3) ひびわれ図

図－３．２．３～図－３．２．９に供試体のひび割れ図を示し、それらの結果を以下に要約列挙する。

（鋼製平板キーＮＯ．１）

・上段ブロックの中央上縁より下方にひび割れが生じた。

・せん断キー内部のモルタルに水平方向にひび割れが数本生じた。それらのひび割れは、せん断キー中央に設置された鋼板に中断され、その鋼板を中心としてほぼ逆対象的に生じている。

（鋼製平板キーＮＯ．２）

・上段ブロックの中央縁端より下方にひび割れが生じ、その長さはＮＯ．１より長い。

・せん断キーの四隅より放射状にひび割れが発生した。

（鋼線平板キーＮＯ．３）

・上段ブロック載荷側の反対に、鋼管の隅よりひび割れが生じた。鋼管内部のモルタルにはほとんどひび割れが生じなかった。

（角鋼管キーＮＯ．４）

・上段ブロックの中央上端より下方にひび割れが生じた。このひび割れ位置は、ＮＯ．１、ＮＯ．２とほぼ同時である。

・鋼管内部にはひび割れは生じず、鋼管外部にひび割れが生じ、それらの位置はせん断面近傍であった。

せん断キーの四隅より放射状にひび割れが生じた。

（角鋼管キーＮＯ．４－２）

・他のブロックと異なり、上段ブロックの側面中間部分に３本縦にひび割れが生じた。

・鋼管内部にはＮＯ．４同様ひび割れは生じなかった。鋼管外部にはＮＯ．４より多くひび割れが生じ、それらは載荷側に生じた。

（コンクリート製キーＮＯ．５）

・上段ブロックの中央上縁より下方にひび割れが生じた。

・ほぼひび割れはせん断面に沿って水平に生じている。

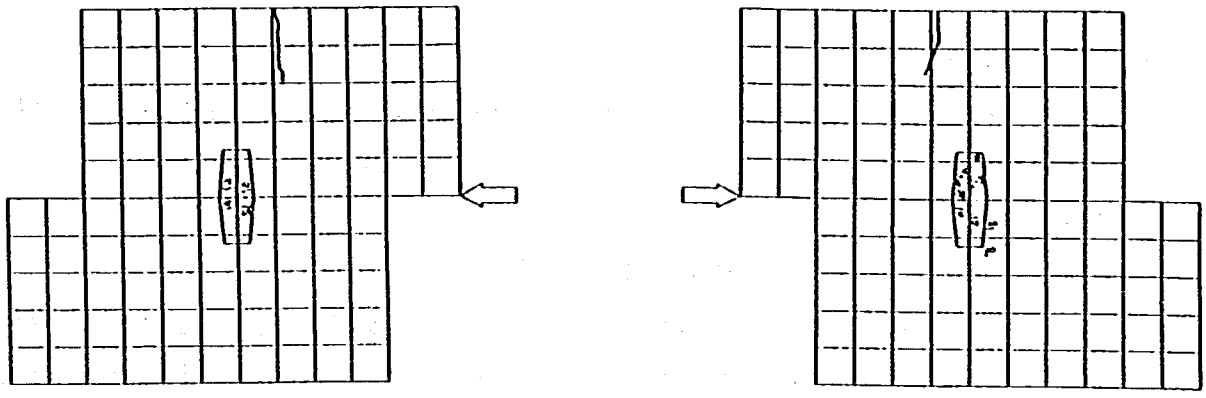
・載荷側の反対でせん断キー凸側付け根部より、右斜め上方に向かってひび割れが生じた。

（コンクリート製キーＮＯ．６）

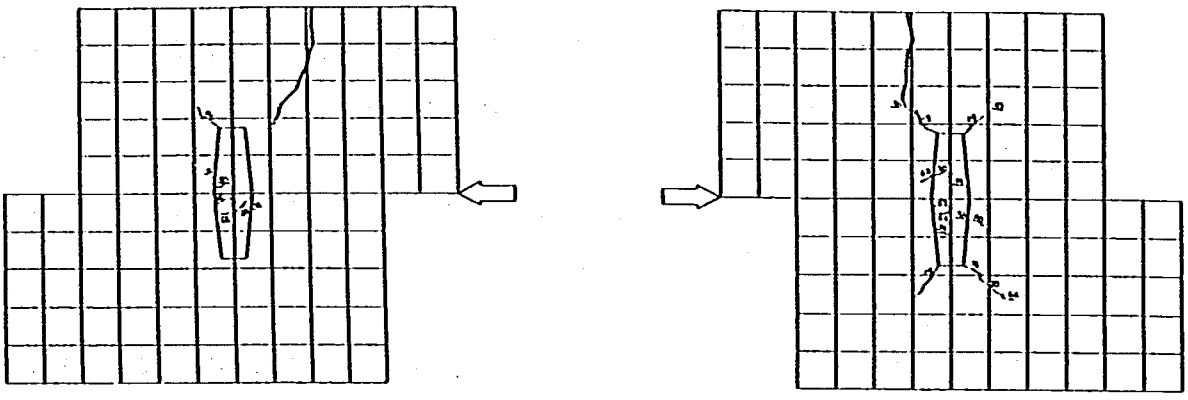
・上段ブロックの中央上縁より下方にひび割れが生じた。

・せん断面にはひび割れが生じなかった。

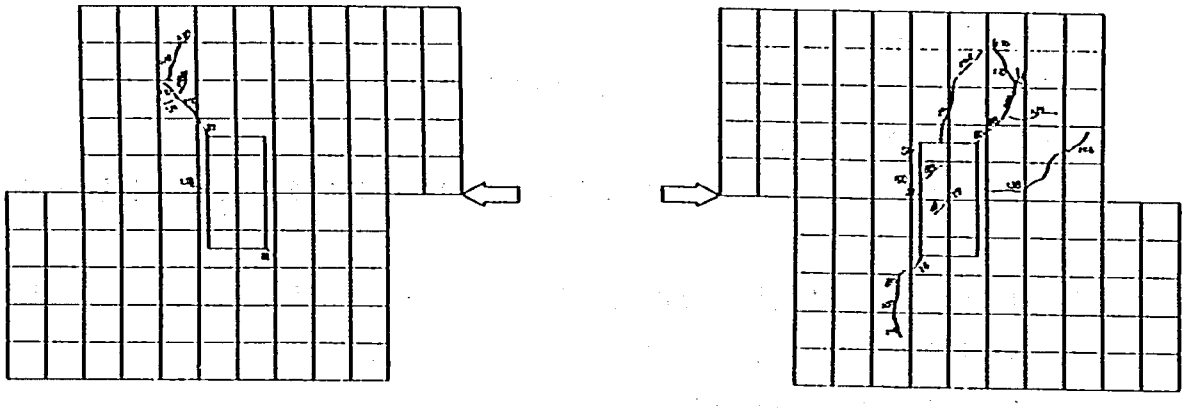
・ＮＯ．６同様載荷側の反対でせん断キー凸側付け根部より、右斜め上方に向かってひび割れが生じたが、その長さはＮＯ．５に比較して短い。



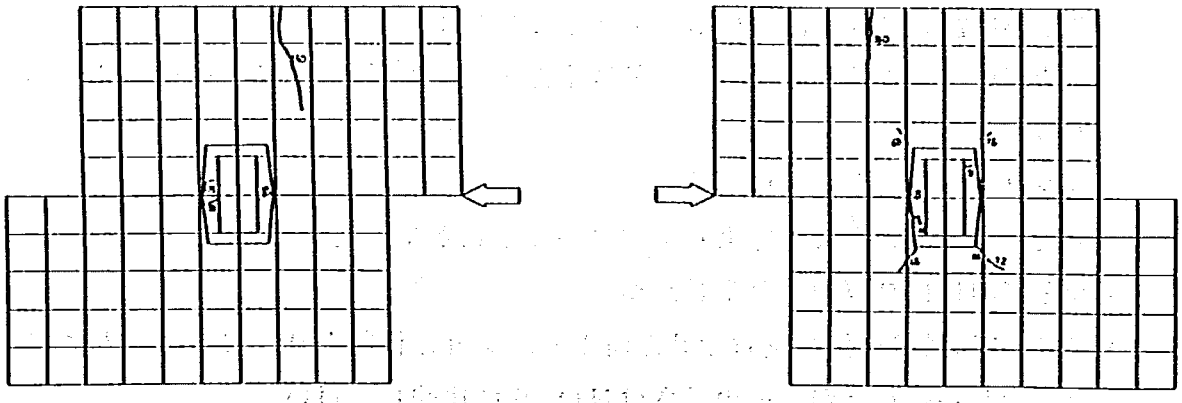
図－３．２．３　ひび割れ図（鋼製平板キーNO.１）



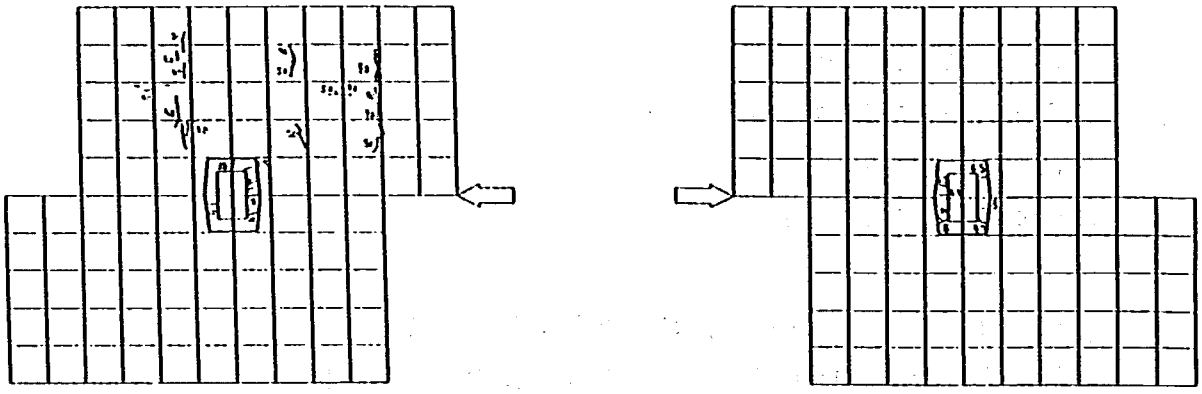
図－３．２．４　ひび割れ図（鋼製平板キーNO.２）



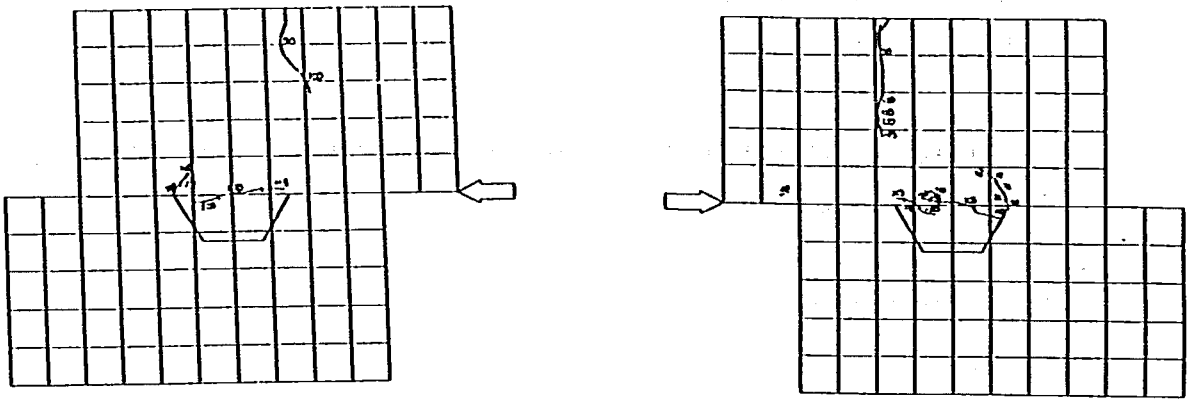
図－３．２．５　ひび割れ図（鋼製平板キーNO.３）



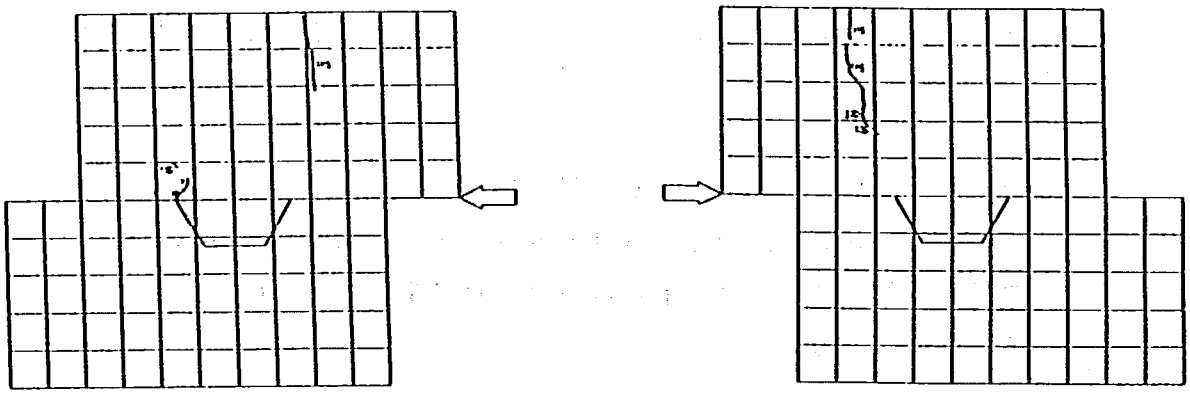
図－３．２．６　ひび割れ図（角鋼管キーNO.４）



図－３．２．７　ひび割れ図（角鋼管キーNO.4-2）



図－３．２．８　ひび割れ図（コンクリート製キーNO.5）



図－３．２．９　ひび割れ図（コンクリート製キーNO.6）

(4) 荷重－鉄筋ひずみ図

荷重－鉄筋ひずみ図を図－３．２．１０～図－３．１．１５に示し、それらの結果を以下に要約列挙する。

（鋼製平板キーＮＯ．１）

上部

・載荷側Ｈ１Ｕ－３，４に圧縮ひずみが生じている。

・終局荷重近傍で、Ｈ１Ｕ－１，２，５のひずみが急増している。

下部

・反力壁側のＨ１Ｌ－８，９に圧縮ひずみが生じてる。

（鋼製平板キーＮＯ．２）

上部

・ＮＯ．１同様、載荷側のＨ１Ｕ－４に圧縮ひずみが生じているが、その値はＮＯ．１と比較して小さい。

下部

・上部とほぼ同様な傾向である。

（鋼製平板キーＮＯ．３）

上部

・Ｈ３Ｕ－２，５は荷重が６０～８０ｔｆを越えたあたりから、急激に引張ひずみが増加し、１０００μまで達した。この期間に角鋼管よりひび割れが発せいしている。

下部

・載荷側Ｈ３Ｌ－９に圧縮ひずみが生じている。

・Ｈ３Ｌ－７，１０も上部同様に６０～８０ｔｆより引張ひずみが増加し、４００μ程度であった。コンクリートにはひび割れは生じていない。

（角鋼管キーＮＯ．４）

上部

・載荷側のＫ１Ｕ－４に圧縮ひずみが生じている。

それ以外の鉄筋にはほとんどひずみが生じていない。

下部

・ほぼ上部と同様な傾向である。

（コンクリート製キーＮＯ．５）

上部

・Ｃ１Ｕ－２，３に圧縮ひずみが生じている。

・Ｃ１Ｕ－１，４，５の引張ひずみは、荷重が約１００ｔｆになると同時に、最大５００μ程度増加してた、ひび割れの発生荷重と同じである。

下部

下部

・コンクリートにひびわれが生じておらず、鉄筋のひずみ増加もほとんど無い。

（コンクリート製キーＮＯ．６）

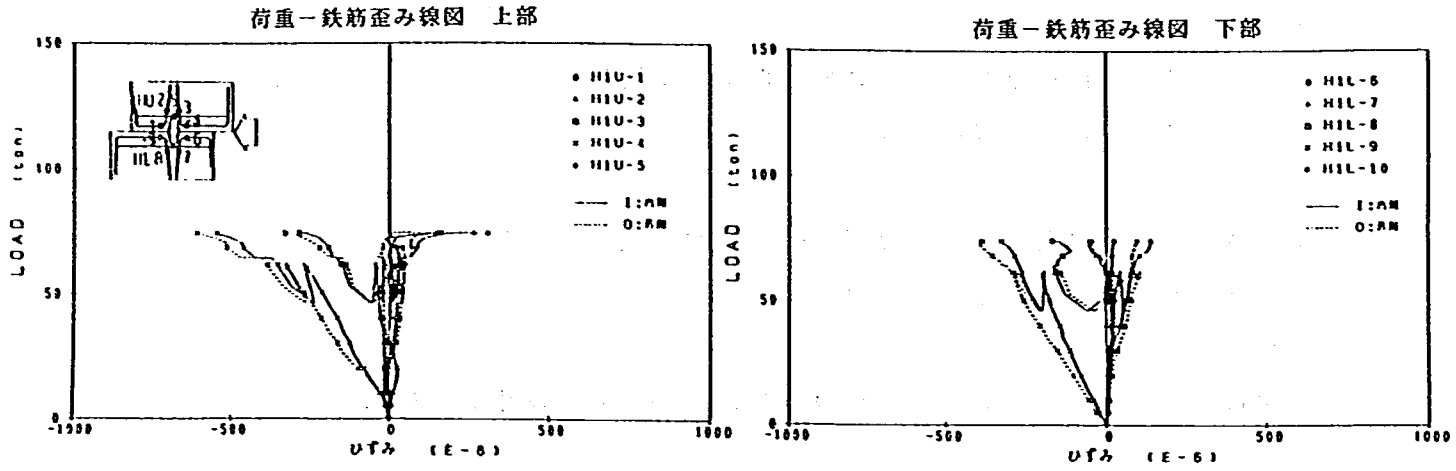
上部

・ＮＯ．５とは異なり、引張ひずみの急激な増加は生じなかった。

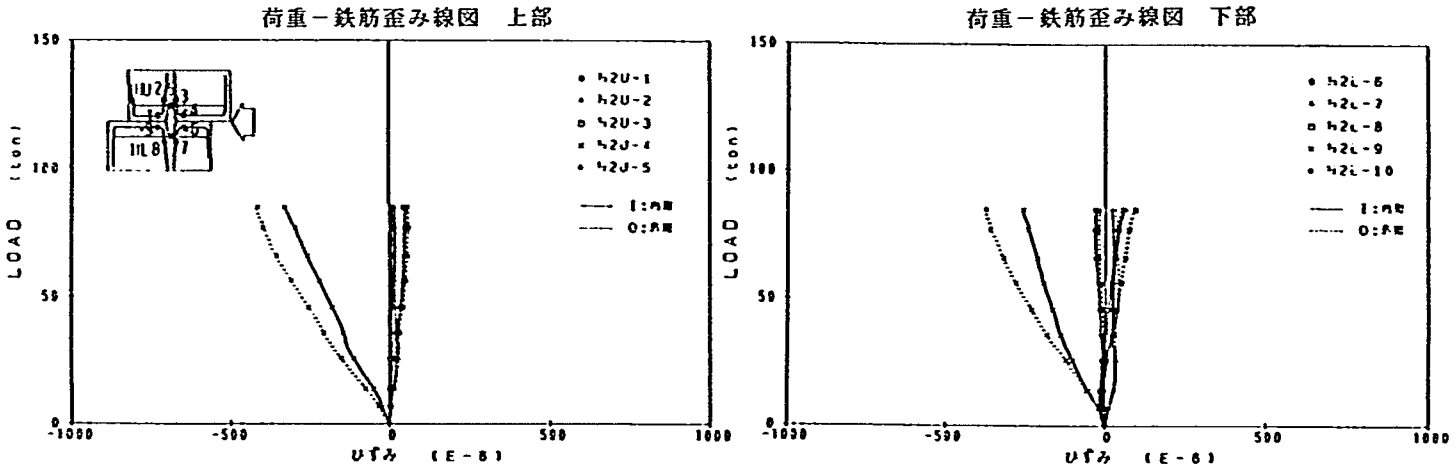
・ひびわれはほとんど生じていない。

下部

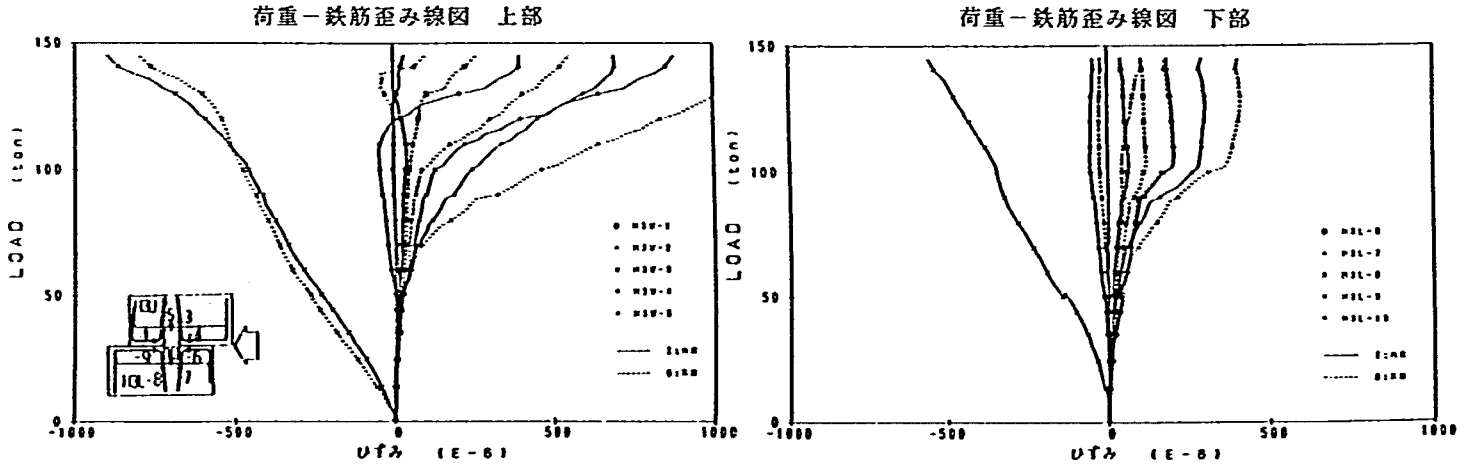
・ＮＯ．５同様、ほとんど鉄筋のひずみ及びひびわれは生じていない。



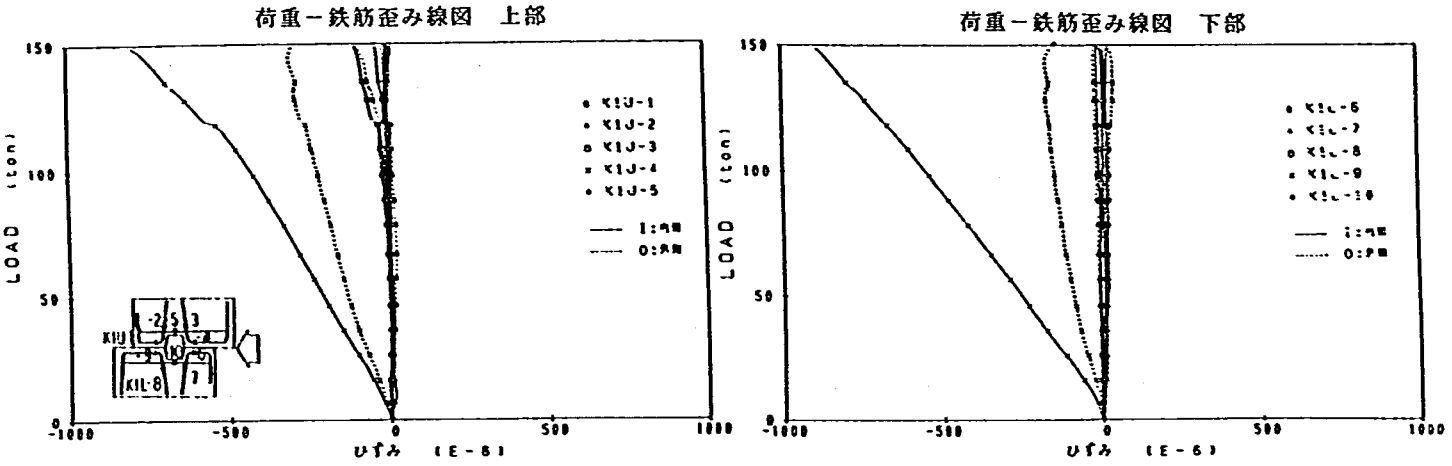
図－３．２．１０　荷重 ～ 鉄筋ひずみ図（鋼製平板キーNO.1）



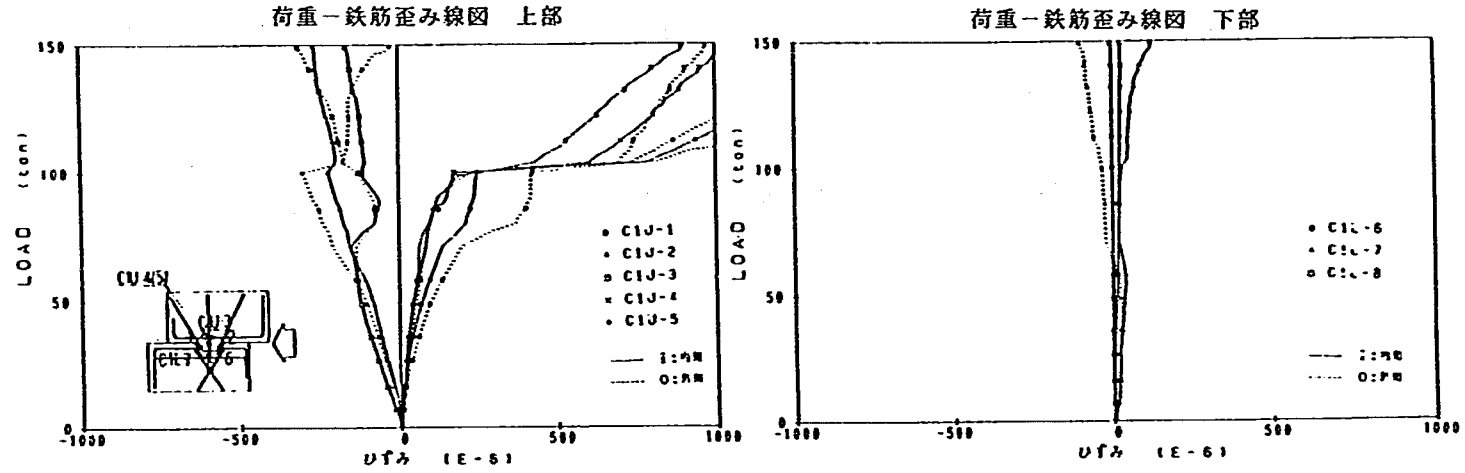
図－３．２．１１　荷重 ～ 鉄筋ひずみ図（鋼製平板キーNO.2）



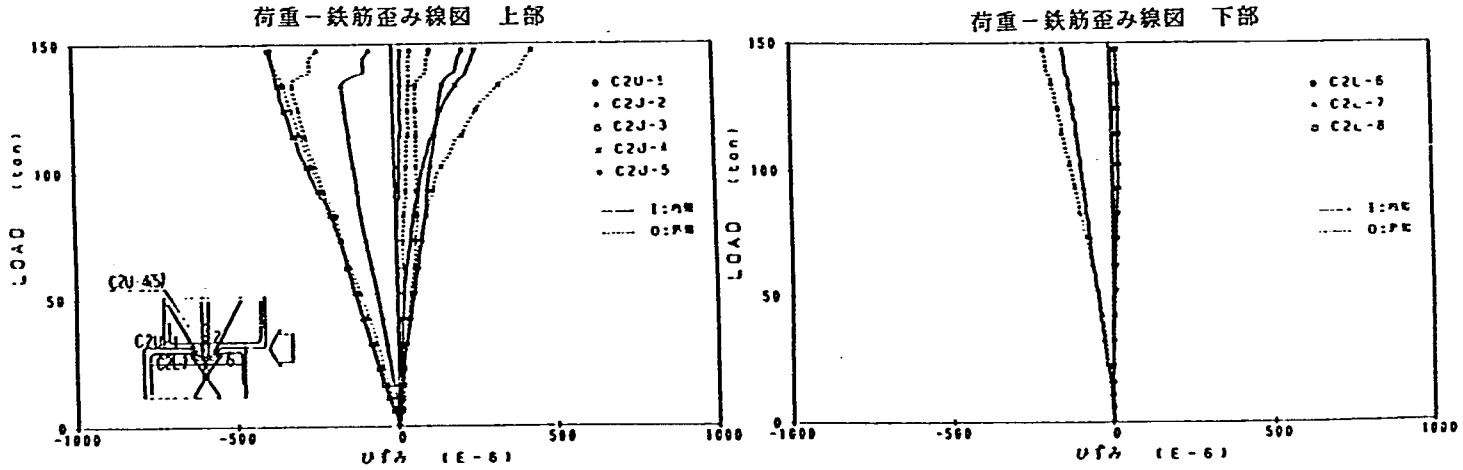
図－３．２．１２　荷重 ～ 鉄筋ひずみ図（鋼製平板キーNO.3）



図－３．２．１３　荷重 ～ 鉄筋ひずみ図（角鋼管キーNO.4）[4]



図－３．２．１４　荷重 ～ 鉄筋ひずみ図（コンクリート製キーNO.5）



図－３．２．１５　荷重 ～ 鉄筋ひずみ図（コンクリート製キーNO.6）

(5) 荷重－平板ひずみ図

荷重－平板ひずみ図を図－３．２．１６～図－３．２．１８に示し、それらの結果を以下に要約列挙する。

（鋼製平板キーＮＯ．１）

・平板中央に設置されたＨ－２，５の反力側の引張ひずみが最も多く増加している。

（鋼製板キーＮＯ．２）

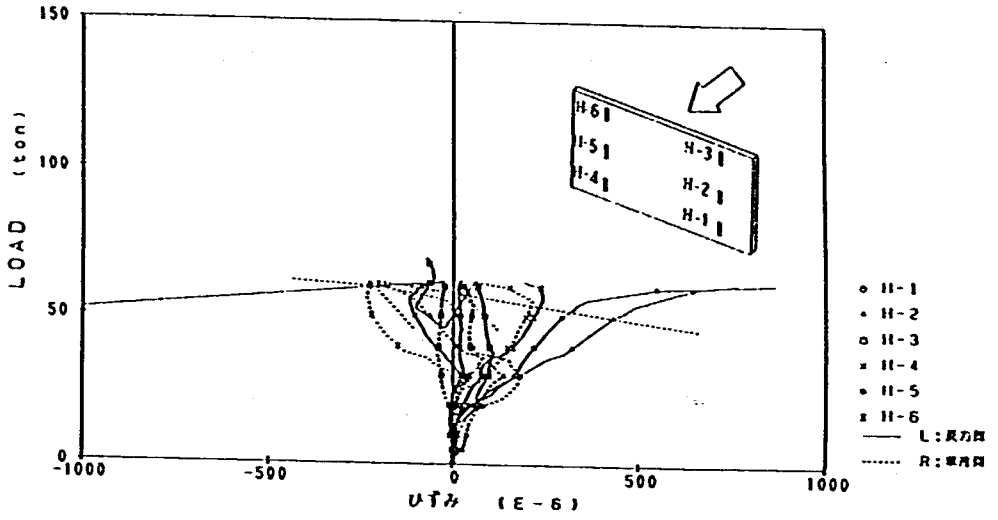
・ＮＯ．１同様、平板中央に設置されたＨ－２（載荷側）、５（反力側）の引張ひずみが最も大きい。最大ひずみはＮＯ．１の値よりも大きく１０００μ以上生じている。

（鋼製平板キーＮＯ．３）

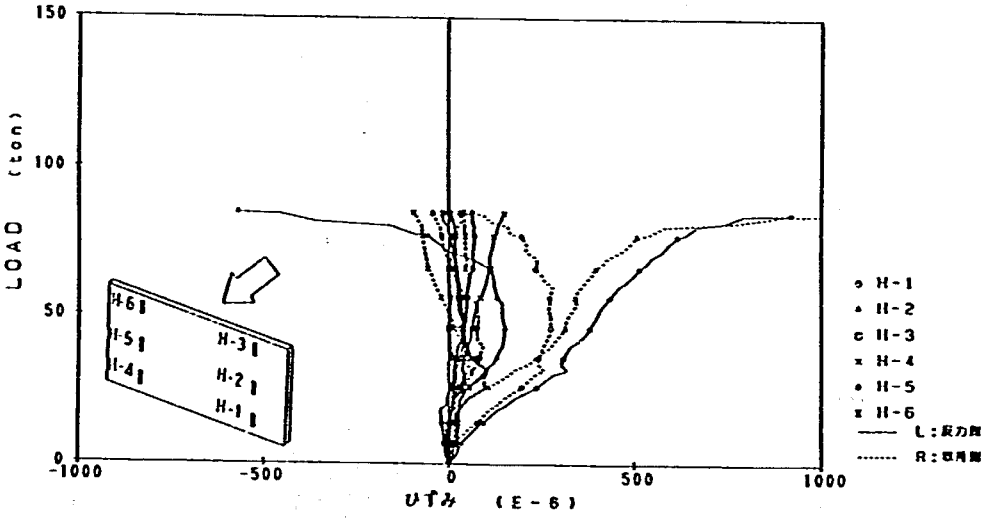
鋼管

・せん断面近傍に設置されたＫ－１，３（上部）およびＫ－６，８（下部）のひずみは、他に比較して最も大きく、約５０ｔｆまで一定の割合で増加し、それ以降急激に増加した。

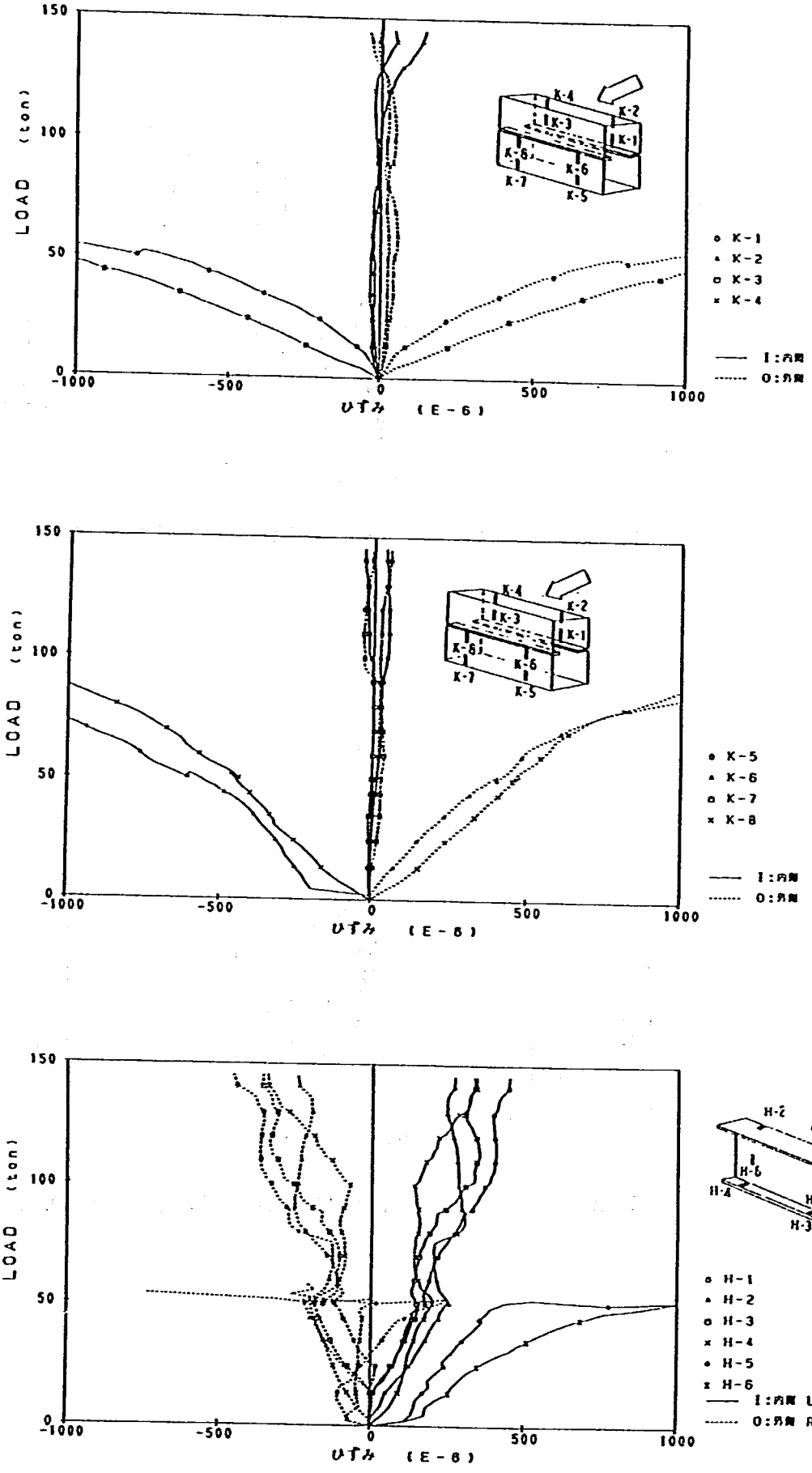
・上下フランジに設置されたＨ－１，２，３，４のひずみは、外側が圧縮ひずみであり、内側が引張ひずみとなっており、最大約４００μ生じている。



図－３．２．１６　荷重 ～ 平板ひずみ図（鋼製平板キーNO.1）



図－３．２．１７　荷重 ～ 平板ひずみ図（鋼製平板キーNO.2）



図－３．２．１８　荷重 ～ 平板ひずみ図（鋼製平板キ－NO.３）

(6) 荷重－角鋼管ひずみ図

荷重－鋼管ひずみ図を図－３．２．１９～図－３．２．２０に示し、それらの結果を以下に要約列挙する。

（角鋼管キーＮＯ．４）

・Ｋ－２，５（内側）のひずみの変化が顕著であり、約１００ｔｆより引張ひずみが急激に増加している。

・鋼管の反力側のひずみは顕著な変化が見られず、一定の割合で増加している。

（角鋼管キーＮＯ．４－２）

載荷側

・ＮＯ．４同様鋼管の内部が引張ひずみ、外側が圧縮ひずみであった。

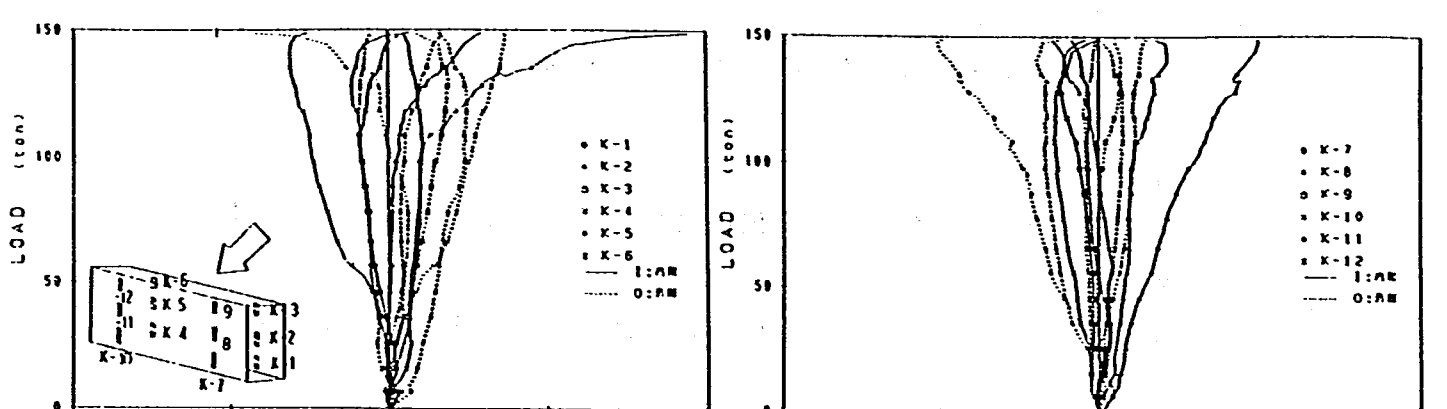
・載荷重が約１００ｔｆで急激にひずみの正負が交番した。

・ＮＯ．４に比較して、１００ｔｆまでのひずみは大きい。

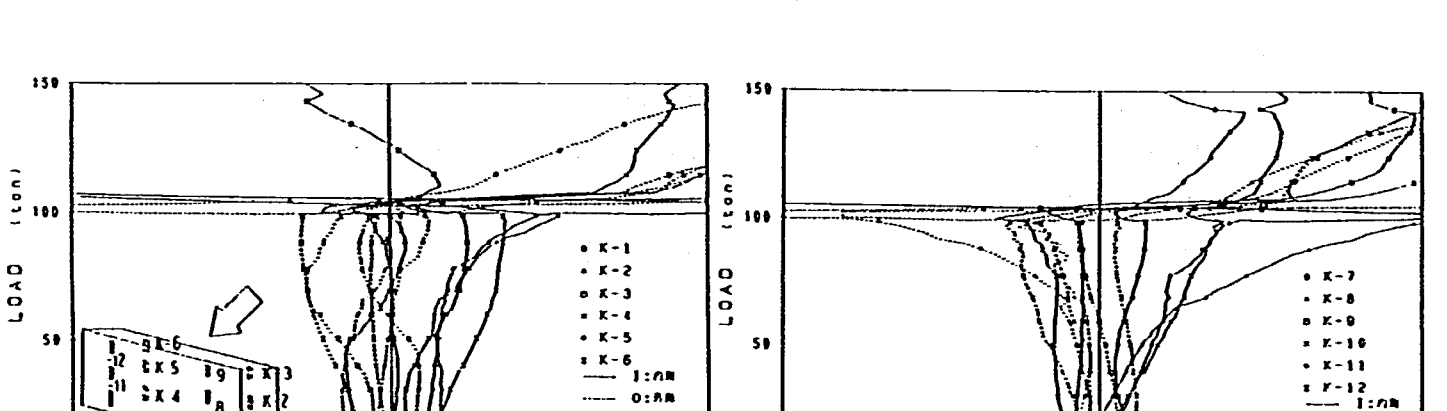
反力側

・載荷側とは異なり、鋼管中央に設置されたＫ－８，１１には、急激なひずみの交番は見られなかった。Ｋ－８，１１（内、外側）のひずみは載荷重が６０ｔｆ近傍より増加している。

・鋼管両端に設置されたＫ－７，１０は載荷重が１００ｔｆでひずみの正負が交番した。



図－３．２．１９　荷重 ～ 鋼管ひずみ図（角鋼管キーNO.4）



図－３．２．２０　荷重 ～ 鋼管ひずみ図（角鋼管キーNO.4-2）

(7) コンクリート主ひずみ図

コンクリート主ひずみ分布図を図－３．２．２１～図－３．２．２６に示し、それらの結果を以下に要約撤去する。

（鋼製平板キーＮＯ．１）

・上部ではせん断キーの載荷側、下部ではせん断キーの反力側のそれぞれ約２５０μの圧縮ひずみが生じている。

また、載荷および反力治具近傍にも圧縮ひずみが生じている。

・引張ひずみは約１００μと小さい値であった。

（鋼製平板キーＮＯ．２）

ＮＯ．１同様、上部ではせん断キーの載荷側、下部ではせん断キーの反力側のそれぞれ約３８０μの圧縮ひずみが生じている。

・載荷および反力治具近傍に圧縮ひずみは生じていない。

・引張ひずみは約５０μとＮＯ．１より小さい値であった。

（鋼製平板キーＮＯ．３）

・上部ではせん断キーの載荷側、下部ではせん断キーの反力側に約１０００μと大きな圧縮ひずみを生じている。また、その同じ位置での引張ひずみは約２３０μとＮＯ．１，２と比較して大きい値である。

・載荷重１３０．１ｔｆでひび割れ発生箇所のひずみが急激に増加している。

（角鋼管キーＮＯ．４）

・載荷重９９．８ｔｆまでは、角鋼管内およびコンクリート部分のひずみは徐々に増加しており、鋼管内で圧縮ひずみは約４００μ、引張ひずみは約３２０μであった。

・載荷重１３０．１ｔｆ以降は圧縮ひずみの増加のみ生じ、引張ひずみの増加は見られない。

（コンクリート製キーＮＯ．５）

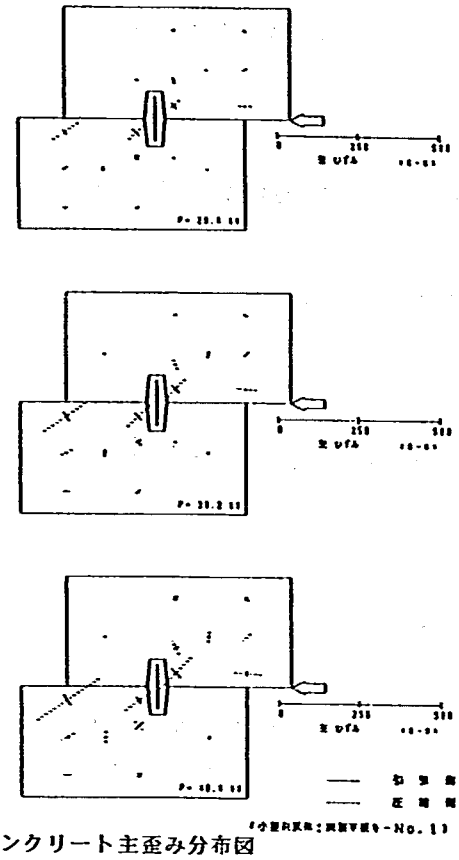
・載荷治具近傍および上部凸せん断キーの反力側の圧縮ひずみが最も大きく約８００μであった。

・上部せん断キーの反力側の引張ひずみは約２３０μであり、ひび割れ発生箇所近傍である。

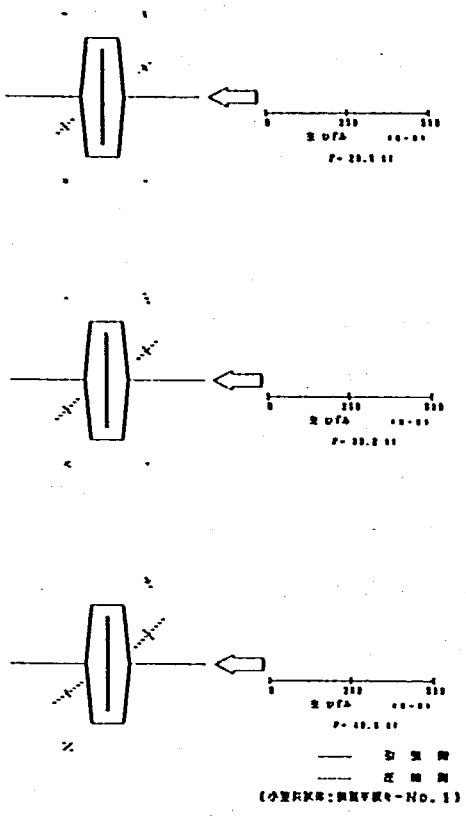
（コンクリート製キーＮＯ．６）

・載荷治具近傍および上部凸せん断キーの反力側の圧縮ひずみが最も大きく１０００μであった。

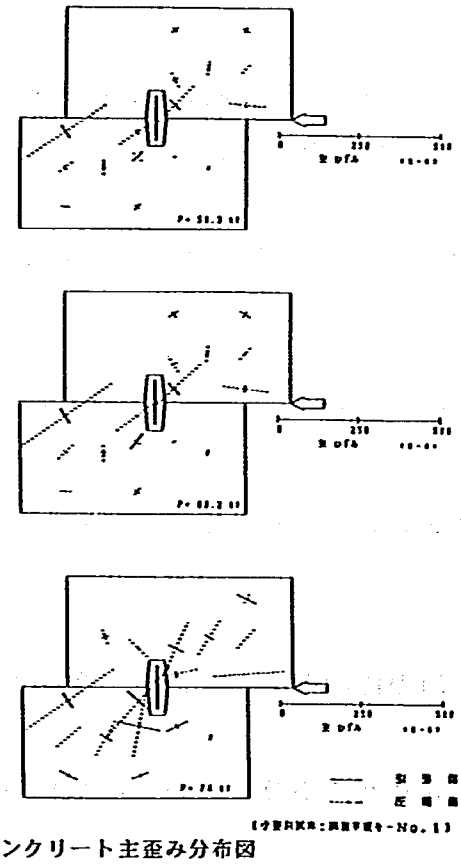
・上部凸せん断キー反力側の引張ひずみは約７５０μであり、ＮＯ．５の値より大きく、その箇所にひび割れが生じている。



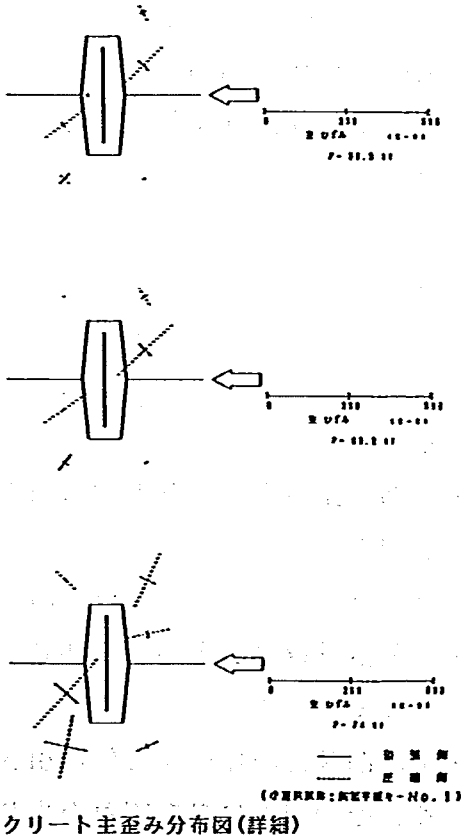
コンクリート主歪み分布図



コンクリート主歪み分布図(詳細)

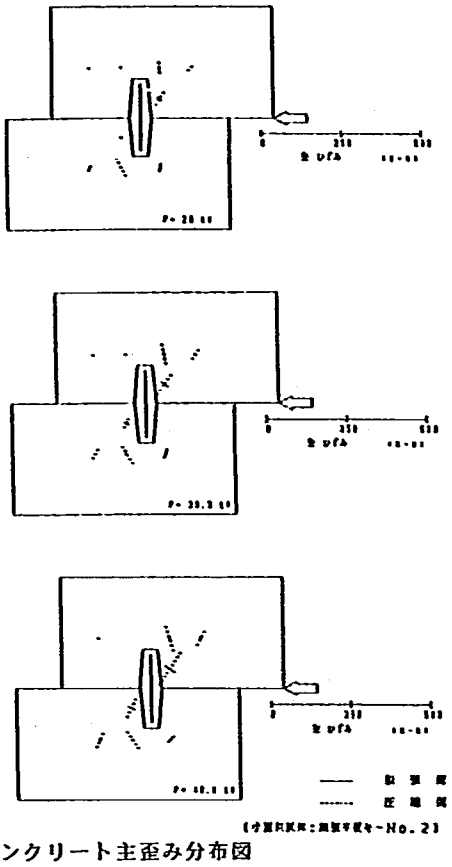


コンクリート主歪み分布図

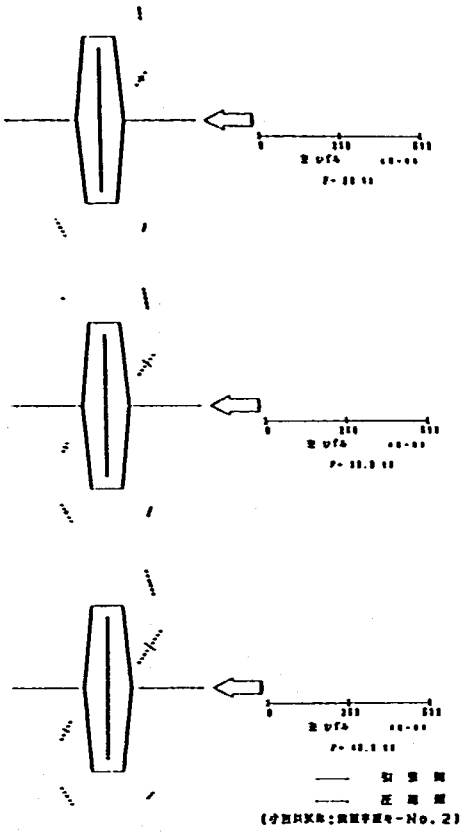


コンクリート主歪み分布図(詳細)

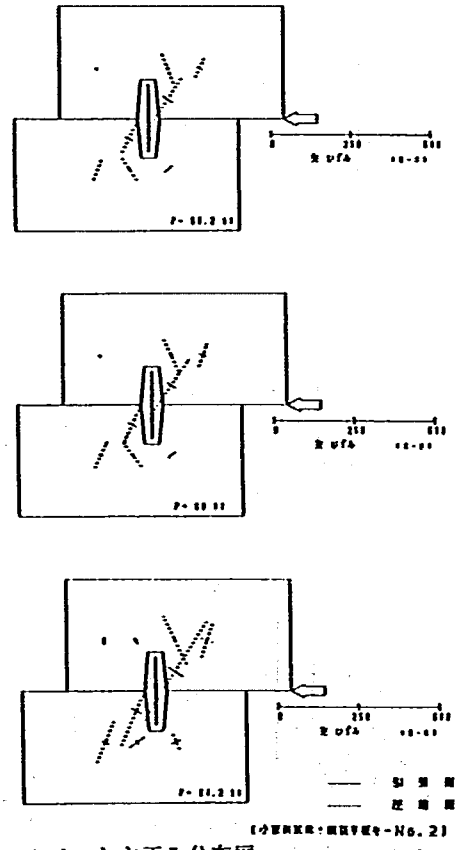
図－３．２．２１　コンクリート主ひずみ分布図（鋼製平板キーNO.1）



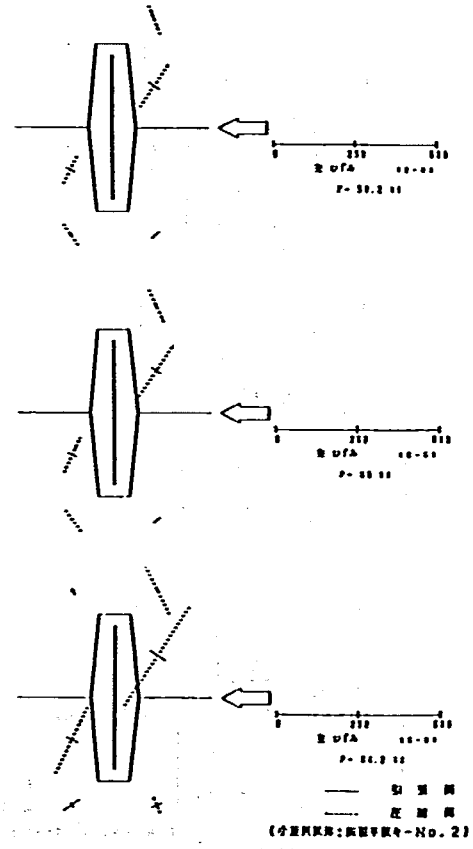
コンクリート主歪み分布図



コンクリート主歪み分布図(詳細)

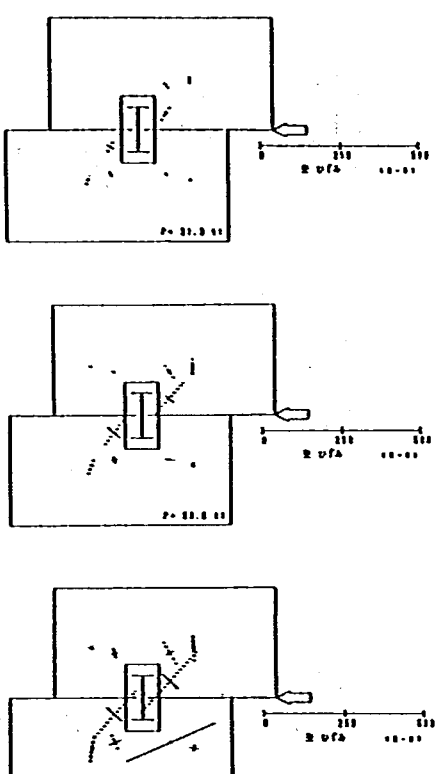


コンクリート主歪み分布図

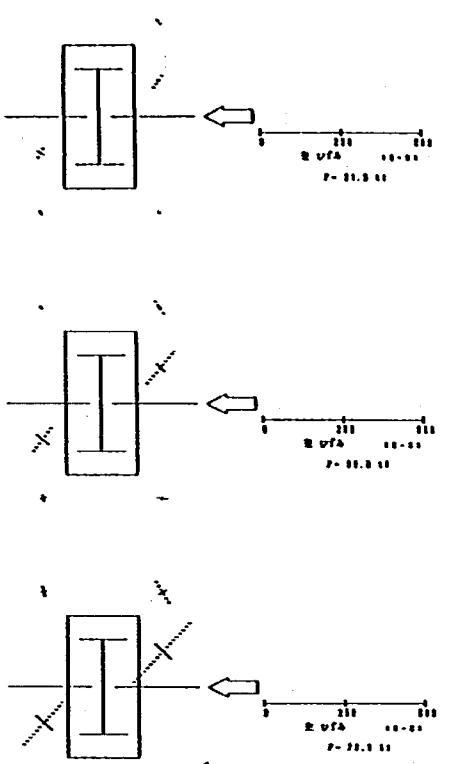


コンクリート主歪み分布図(詳細)

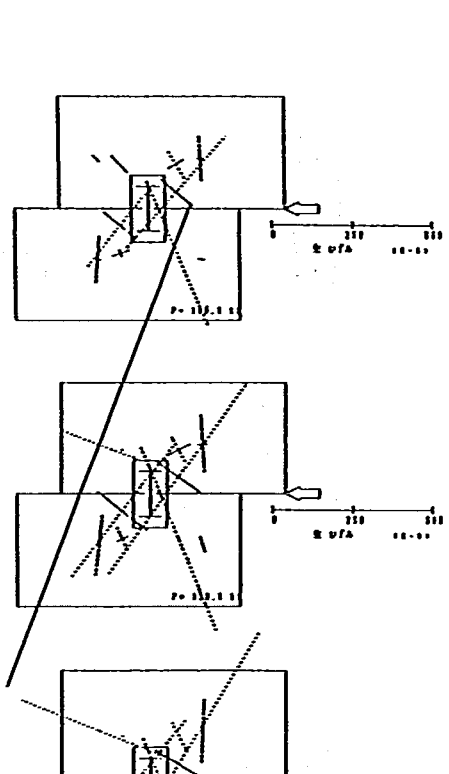
図－3．2．22　コンクリート主ひずみ分布図（鋼製平板キーNO.2）



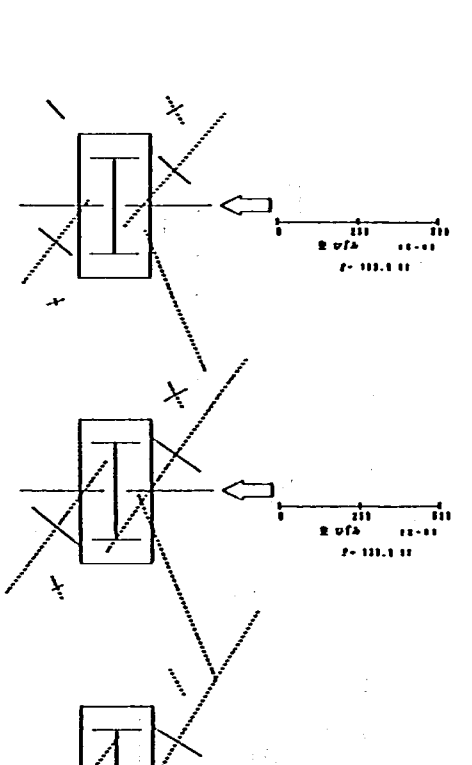
コンクリート主歪み分布図



コンクリート主歪み分布図(詳細)

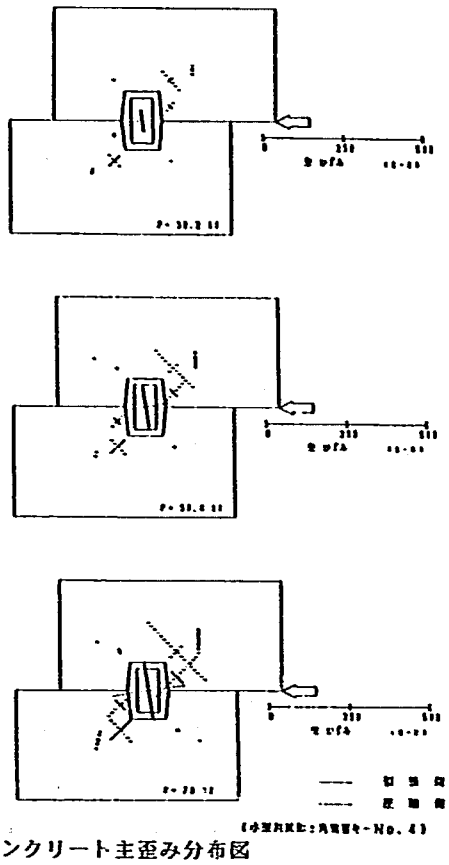


コンクリート主歪み分布図

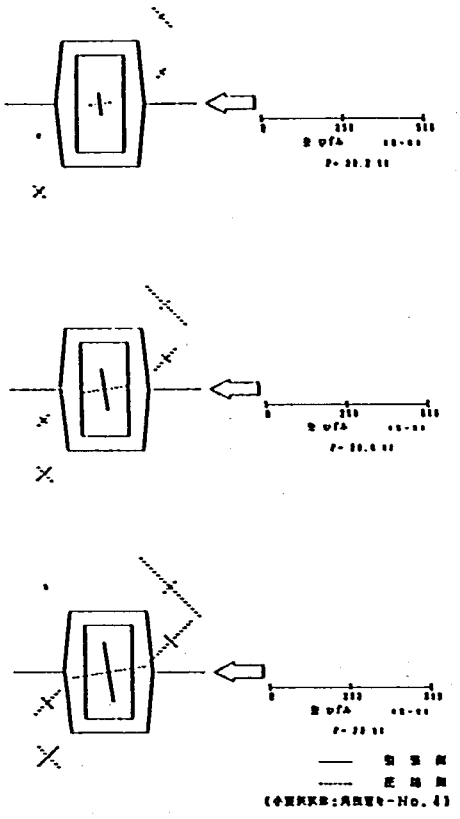


コンクリート主歪み分布図(詳細)

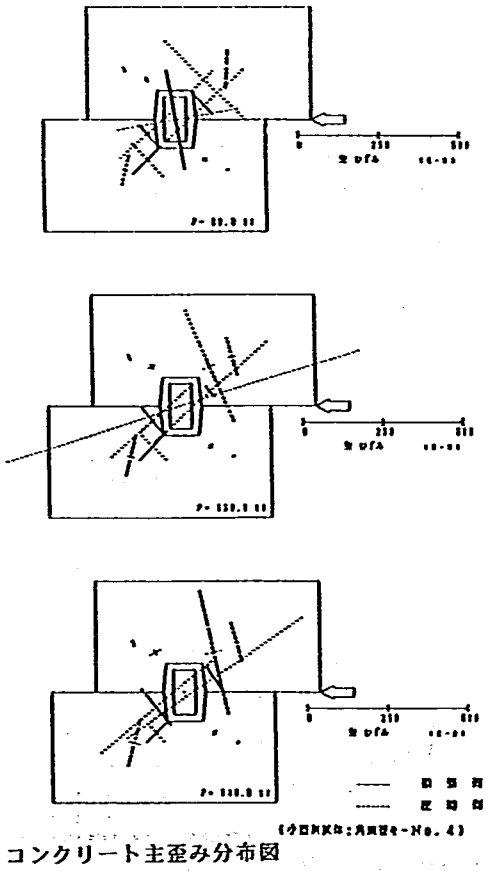
図－３．２．２３　コンクリート主ひずみ分布図（鋼製平板キーNO.３）



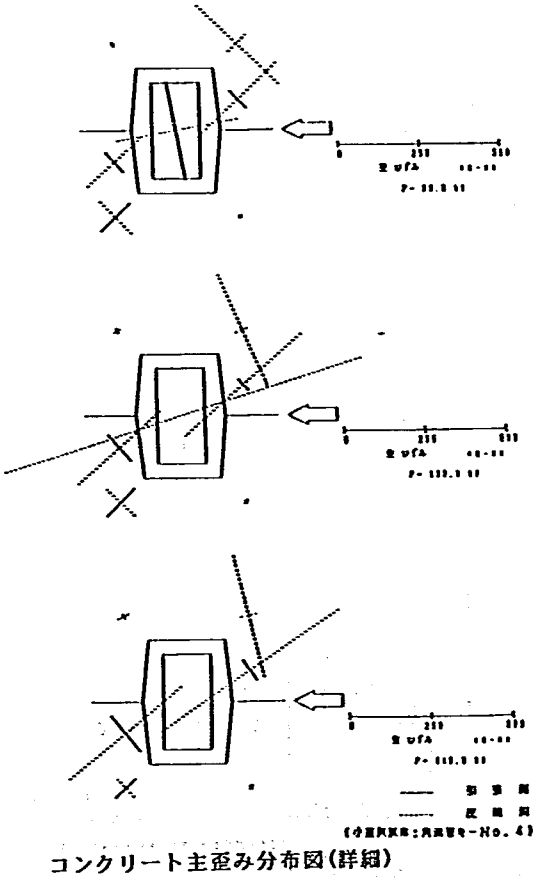
コンクリート主歪み分布図



コンクリート主歪み分布図(詳細)

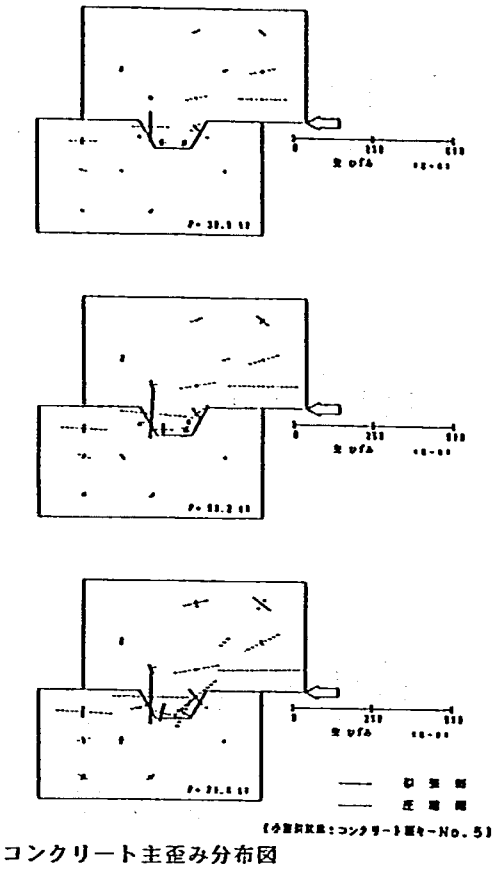


コンクリート主歪み分布図

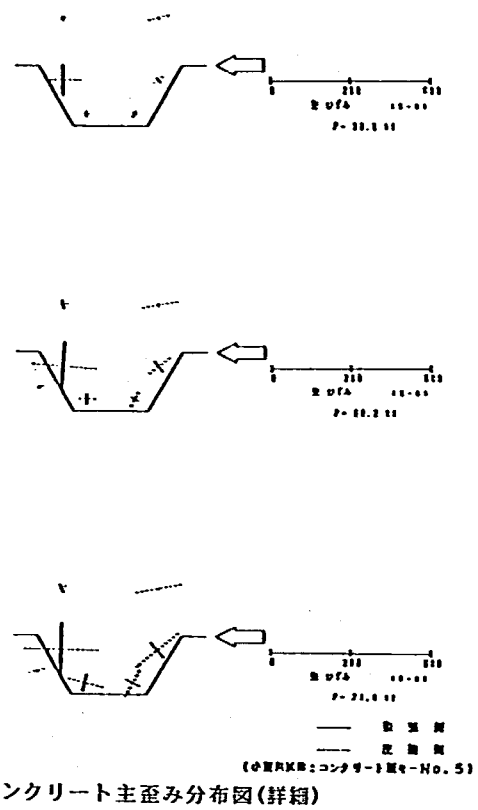


コンクリート主歪み分布図(詳細)

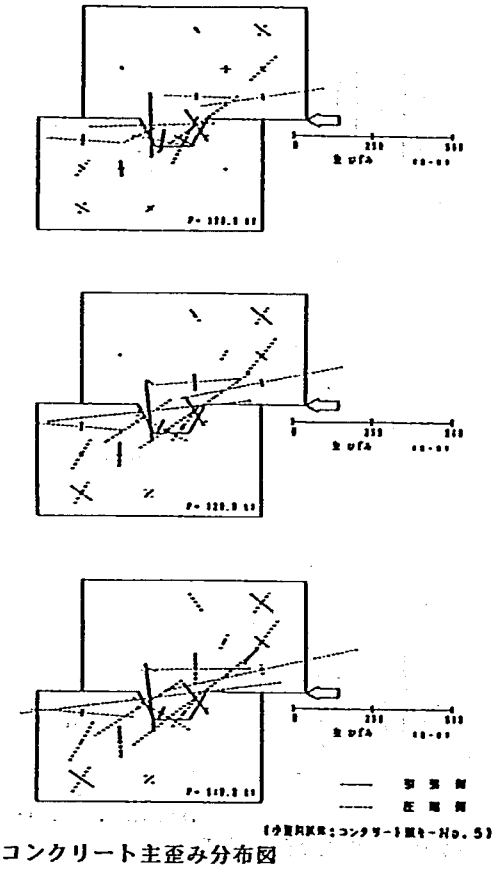
図－３．２．２４　コンクリート主ひずみ分布図（角鋼管キーNO.4）



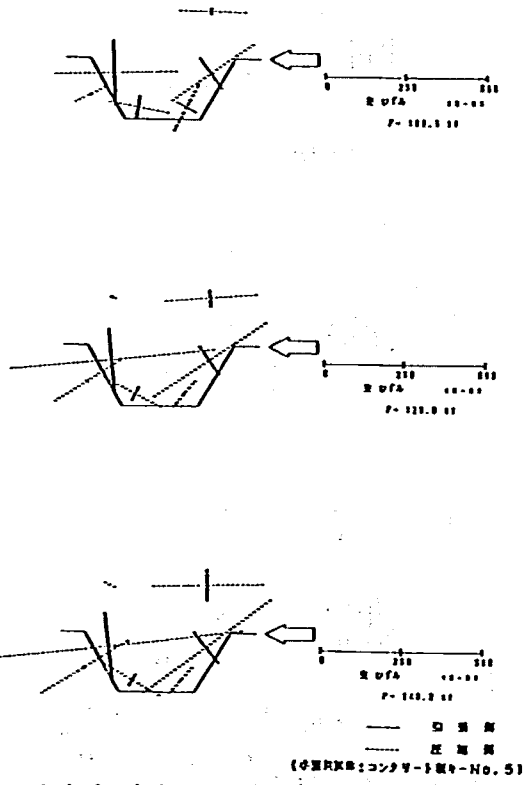
コンクリート主歪み分布図



コンクリート主歪み分布図(詳細)

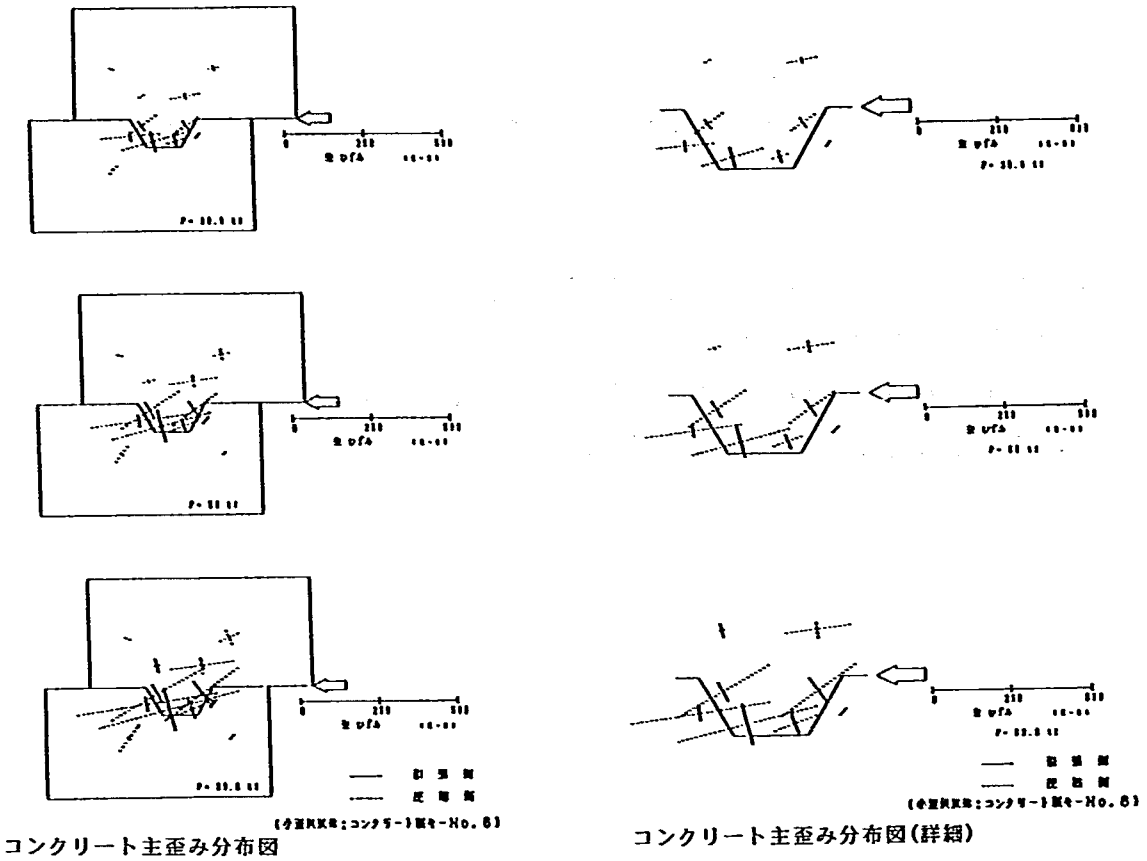


コンクリート主歪み分布図



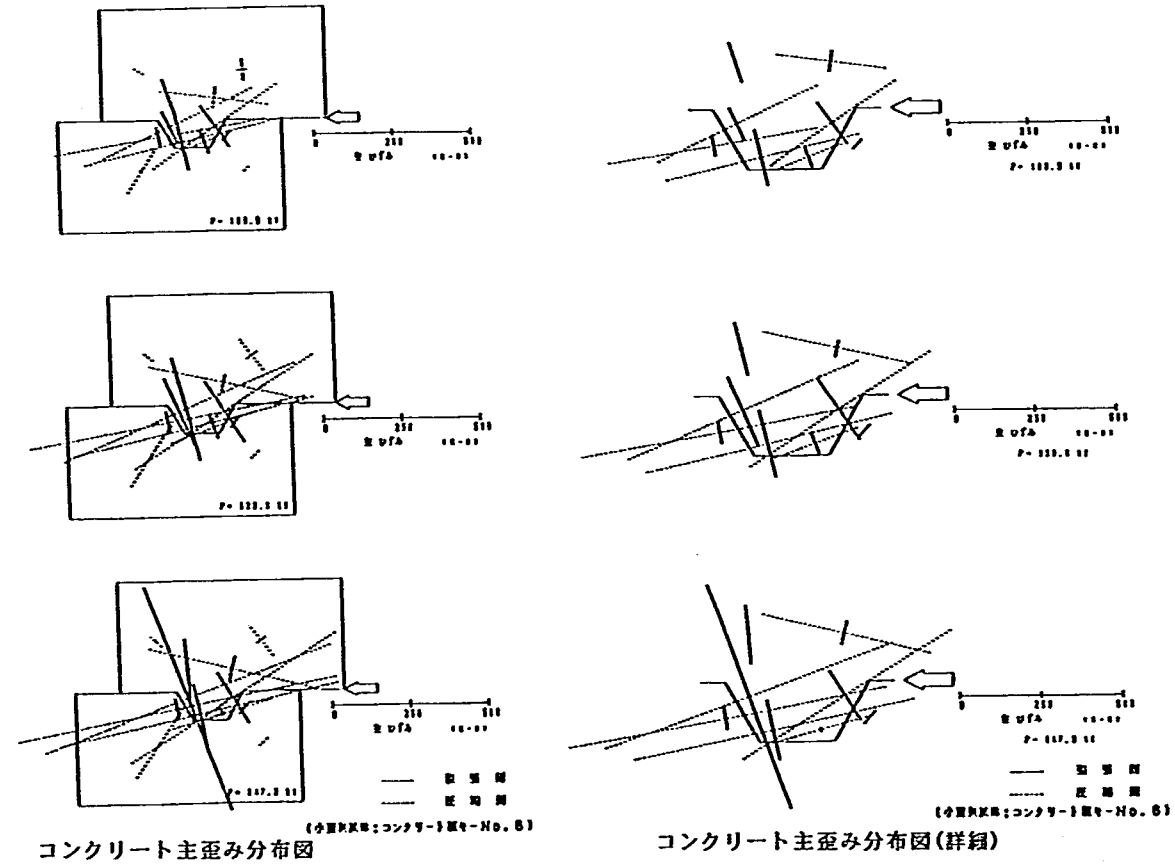
コンクリート主歪み分布図(詳細)

図－3．2．25　コンクリート主ひずみ分布図（コンクリート製キーNO.5）



コンクリート主歪み分布図

コンクリート主歪み分布図(詳細)



コンクリート主歪み分布図

コンクリート主歪み分布図(詳細)

図－3．2．26　コンクリート主ひずみ分布図（コンクリート製キーNO.1）

(8) 荷重－モールドゲージひずみ図

荷重－モールドゲージひずみ図を図－３．２．２７～図－３．２．２８に示し、それらの要約撤去する。

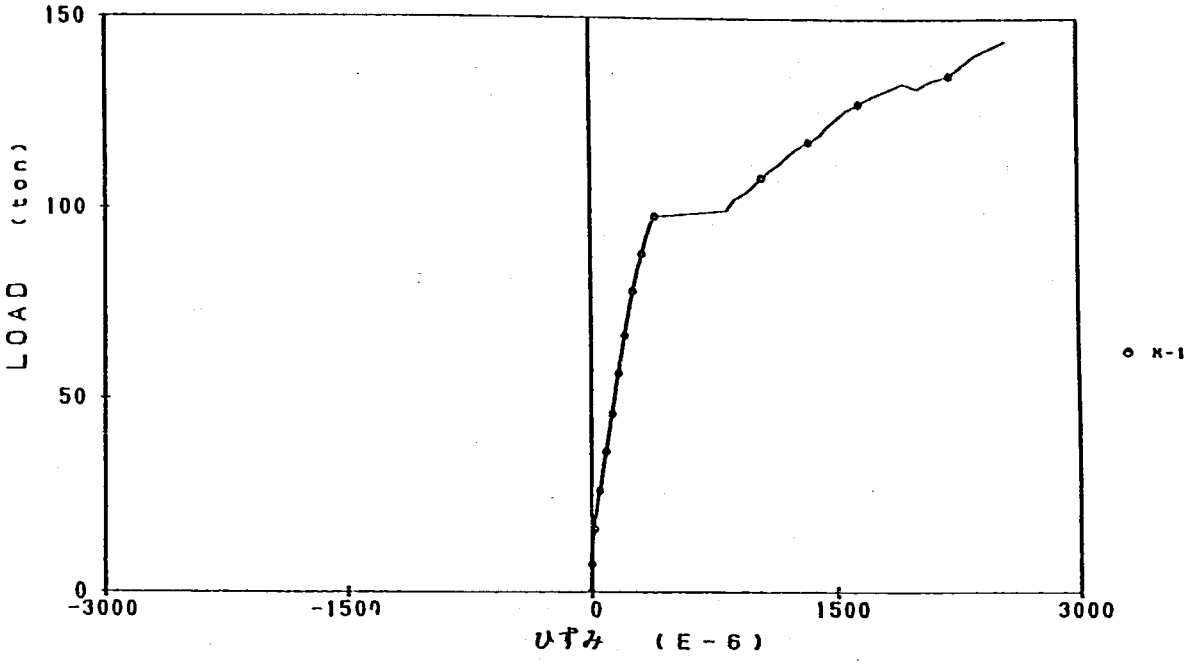
（角鋼管キーＮＯ．４）

・載荷重１００ｔｆ以降ひずみが急激に増加している。

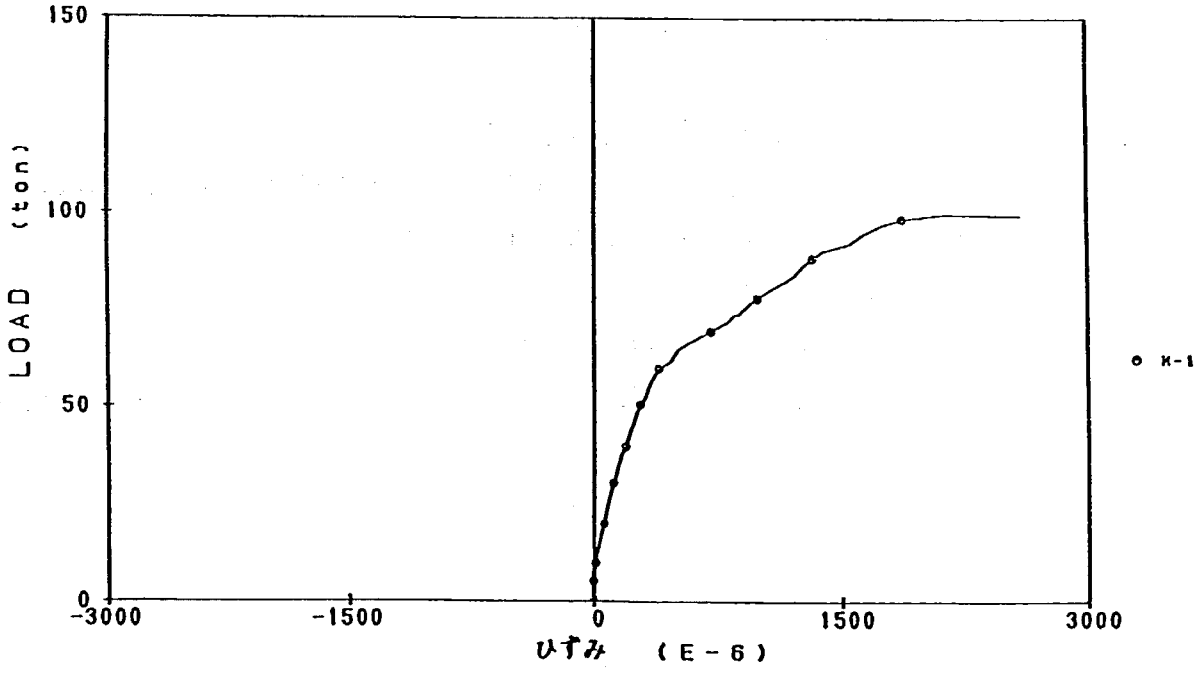
（角鋼管キーＮＯ．４－２）

・載荷重役６０ｔｆ以降ひずみが急激に増加している。

・載荷重１００ｔｆ以降荷重の増加はない。



図－３．２．２７　荷重 ～ モールドゲージひずみ図（角鋼管キーNO.4）



図－３．２．２８　荷重 ～ モールドゲージひずみ図（角鋼管キーNO.4-2）

(9) 荷重－ＰＣ鋼棒軸力線図

荷重－ＰＣ鋼棒軸力線図を図－３．２．２９～図－３．２．３５に示し、それらの結果を以下に要約列挙する。

（鋼製平板キーＮＯ．１）

・載荷重約６０ｔｆ以降荷重が低下し、再度約７０ｔｆで増加した。

・合力は、他と比較して最も大きく約９０ｔｆであった。

（鋼管平板キーＮＯ．２）

・最終荷重まで一定の勾配で軸力は増加した。

・合力はＮＯ．１よりも小さい値であった。

・載荷側のＰＣ鋼棒の軸力が他に比較して大きい。

（鋼製平板キーＮＯ．３）

・最終荷重まで一定の勾配で軸力は増加した。

・ＮＯ．２同様、載荷側のＰＣ鋼棒の軸力が他に比較して大きい。

（角鋼管キーＮＯ．４）

・最終荷重まで一定の勾配で軸力は増加した。

・ＮＯ．２，３同様、載荷側のＰＣ鋼棒の軸力が他に比較して大きい。

（角鋼管キーＮＯ．４－２）

・載荷重１００ｔｆで増加勾配が変化している。

・反力側のＰＣ鋼棒の軸力が他に比較して大きい。

（コンクリート製キーＮＯ．５）

・最終荷重まで一定の勾配で軸力は増加した。

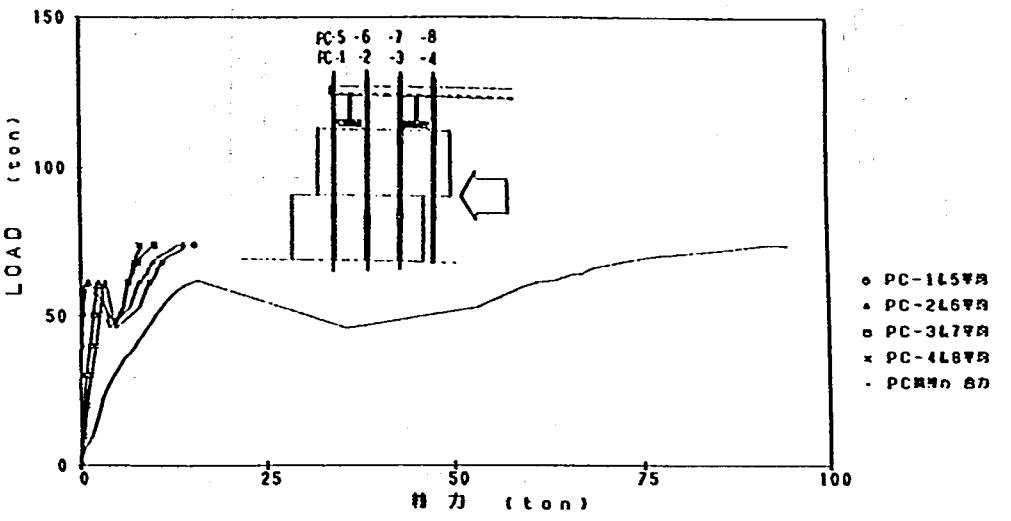
・ＮＯ．２，３，４同様、載荷側のＰＣ鋼棒の軸力が他に比較して大きい。

・合力は、他と比較し最も小さく約４０ｔｆであった。

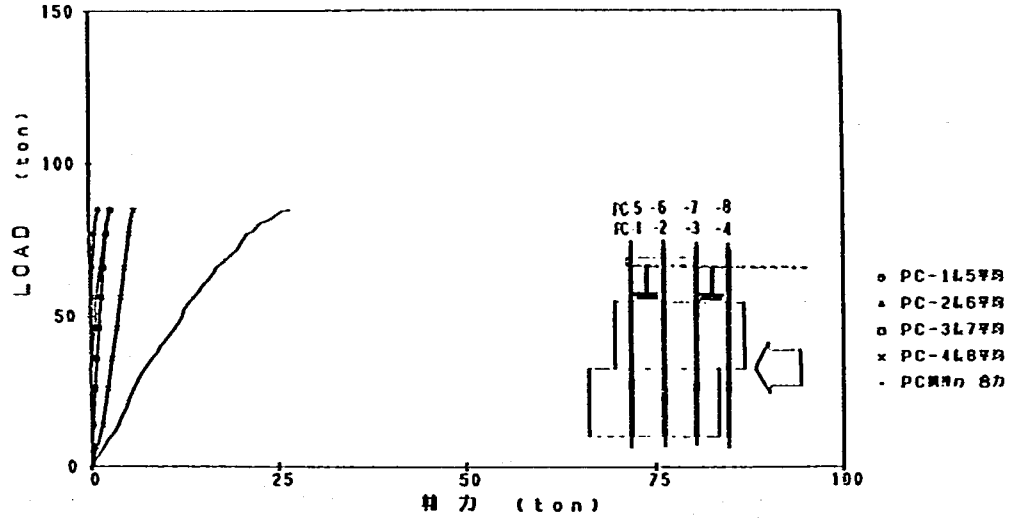
（コンクリート製キーＮＯ．６）

・最終荷重まで一定の勾配で軸力は増加した。

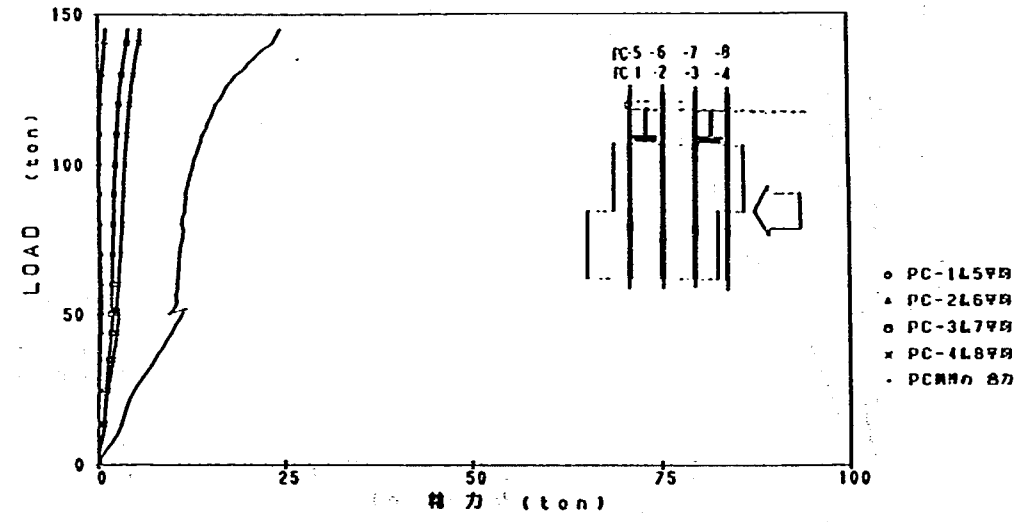
・ＮＯ．２，３，４，５同様、載荷側のＰＣ鋼棒の軸力が他に比較して大きい。



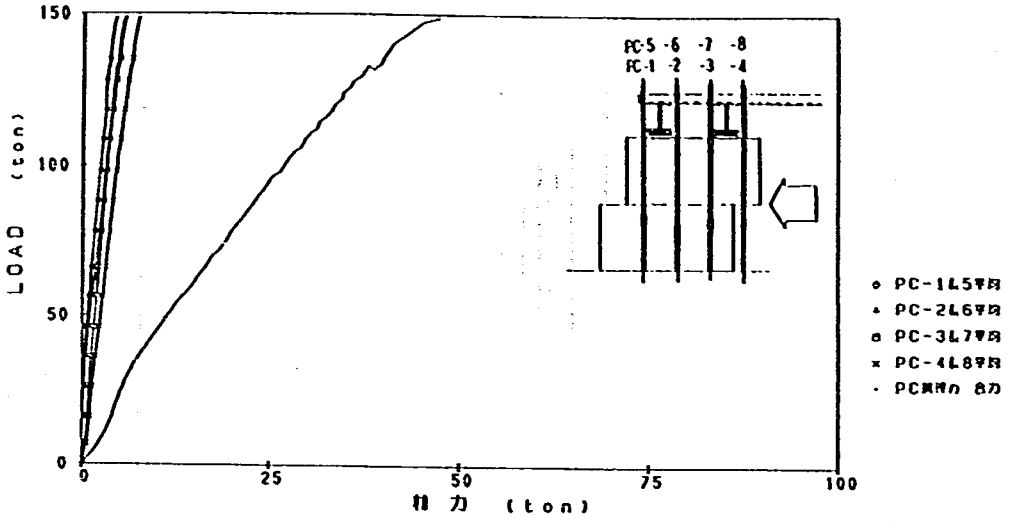
図－３．２．２９　荷重 ～ ＰＣ鋼棒軸力線図(鋼製平板キー NO.1)



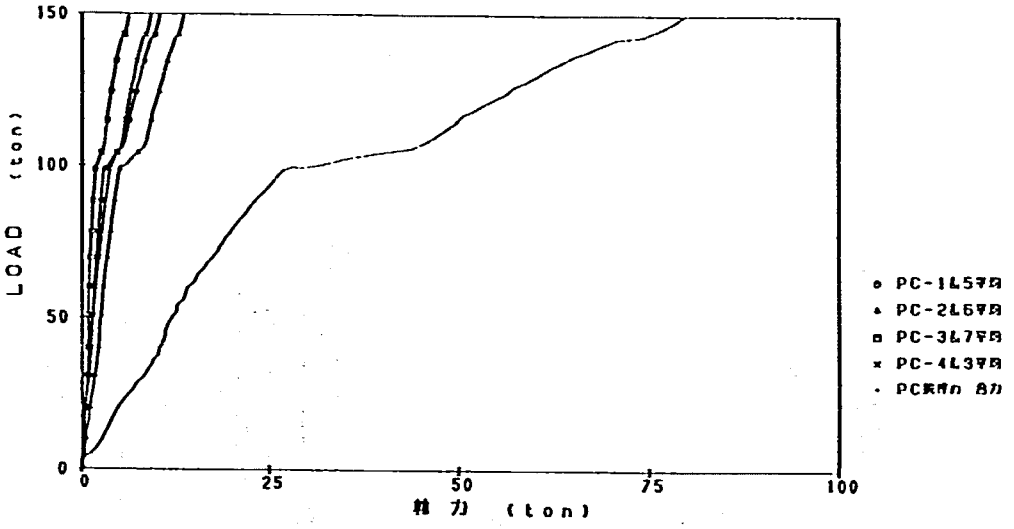
図－３．２．３０　荷重 ～ ＰＣ鋼棒軸力線図(鋼製平板キー NO.2)



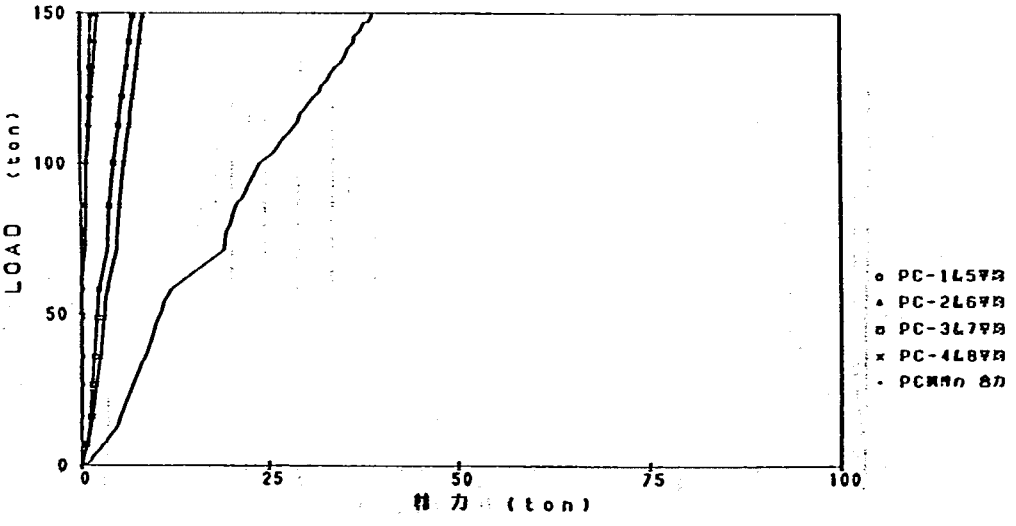
図－３．２．３１　荷重 ～ ＰＣ鋼棒軸力線図(鋼製平板キー NO.3)



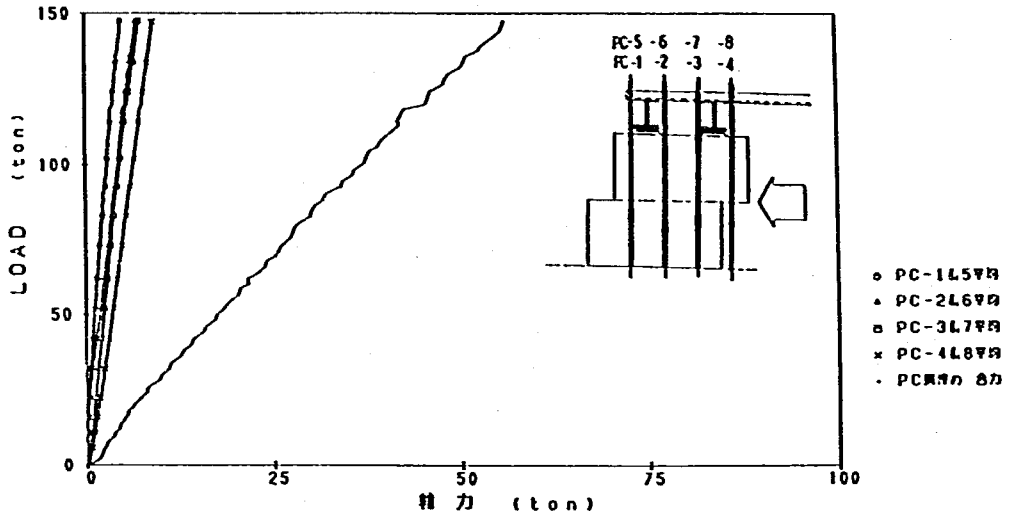
図－３．２．３２　荷重 ～ ＰＣ鋼棒軸力線図(角鋼管キー NO.4)



図－３．２．３３　荷重 ～ ＰＣ鋼棒軸力線図(角鋼管キー NO.4-2)

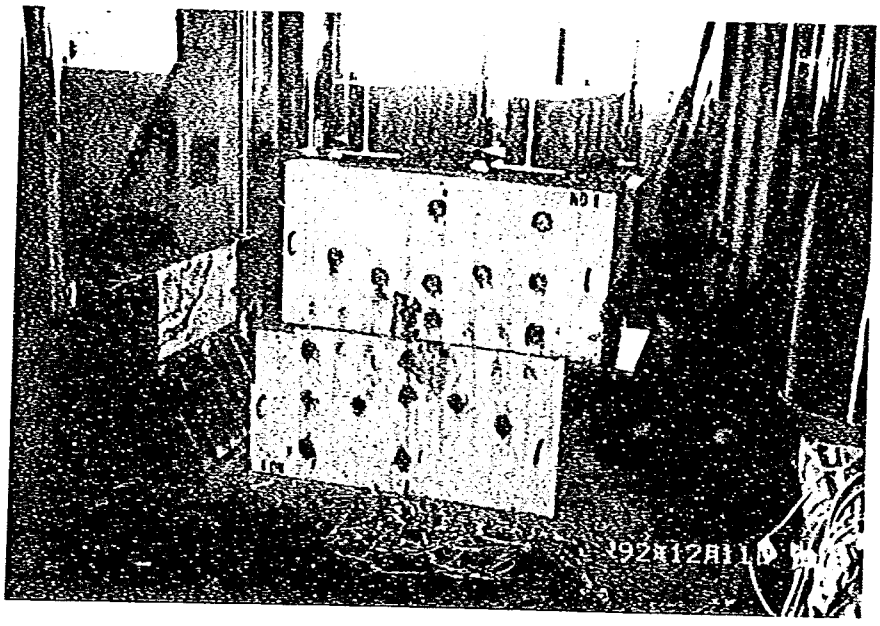


図－３．２．３４　荷重 ～ ＰＣ鋼棒軸力線図(コンクリート製キー NO.5)

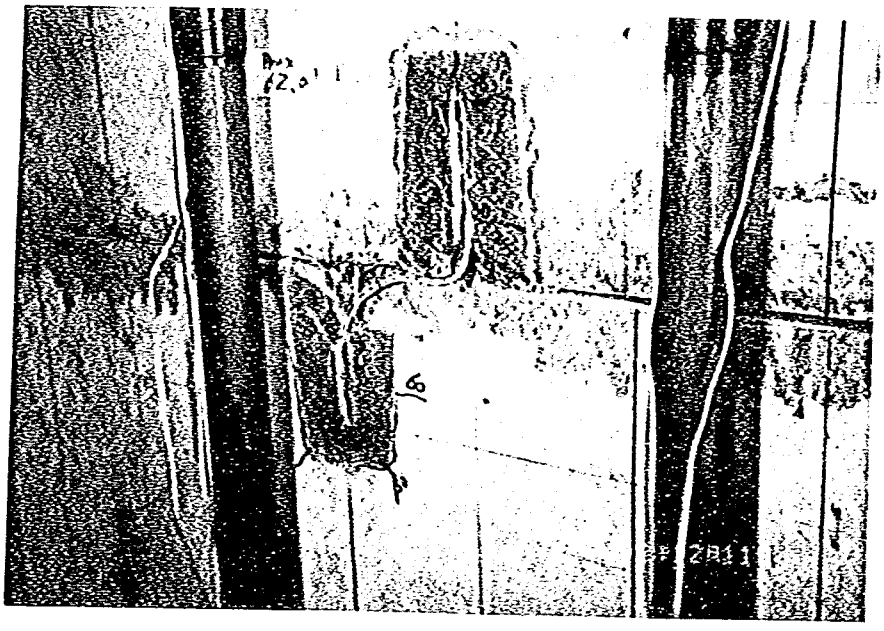


図－３．２．３５　荷重 ～ ＰＣ鋼棒軸力線図(コンクリート製キー NO.6)

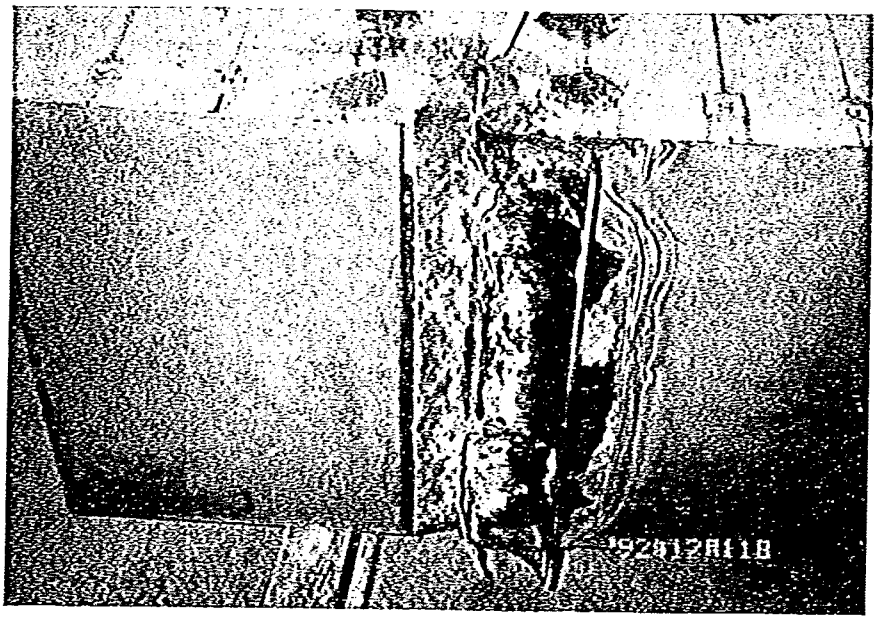
せん断キー実験荷重載荷後状況写真



コンクリート打設面側

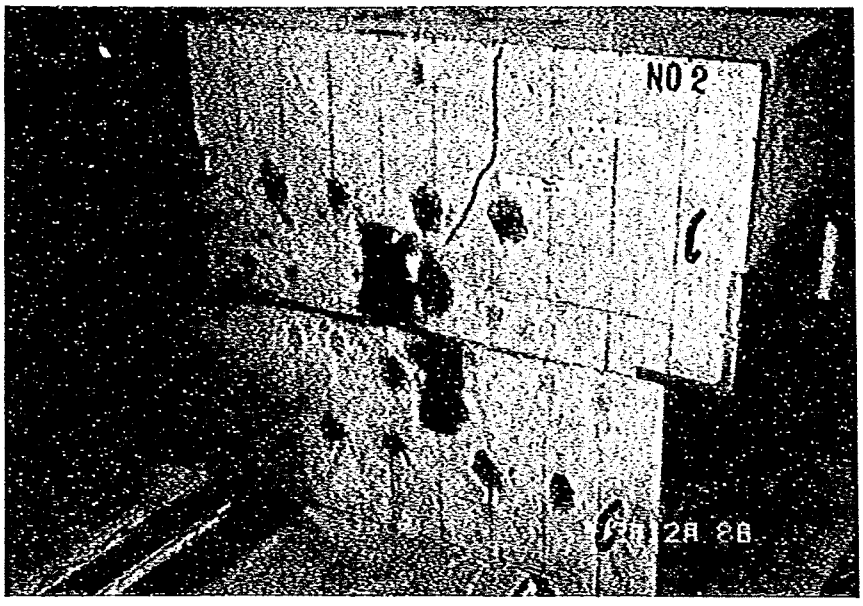


コンクリート打設面反対側

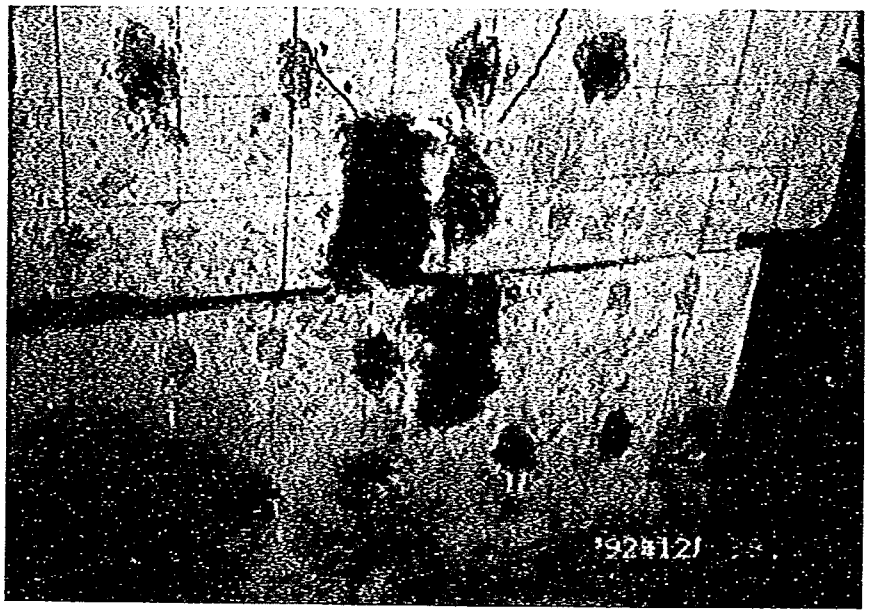


上部ブロック

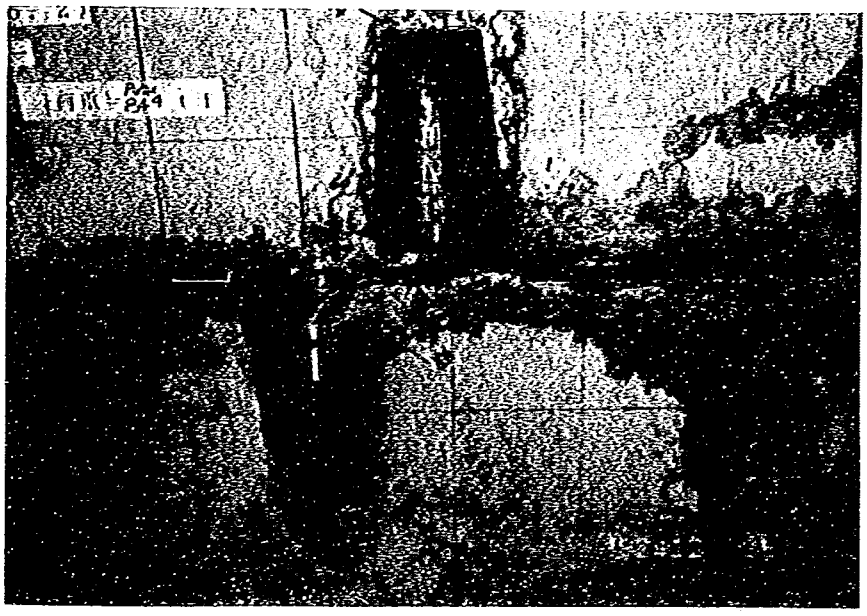
写真－３．２．１　鋼製平板キー（１）



コンクリート打設面側

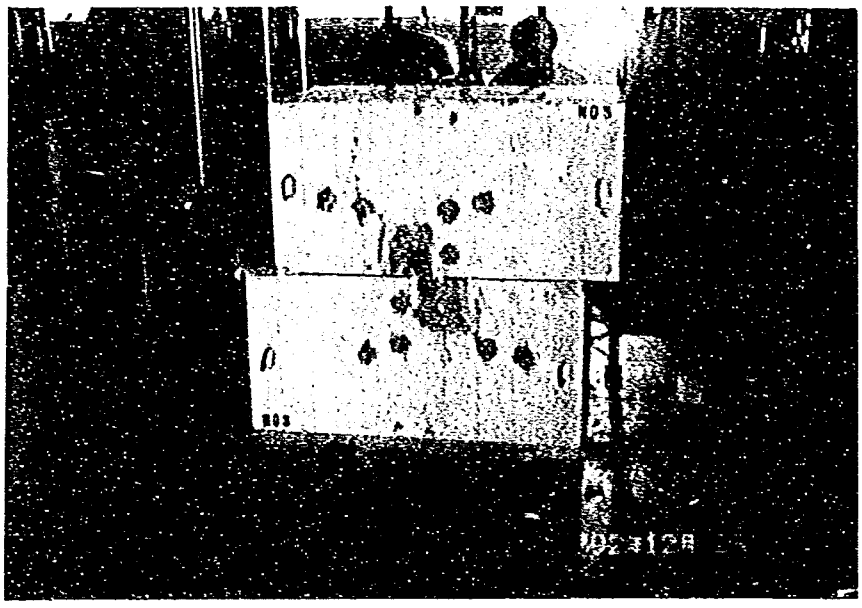


コンクリート打設面外

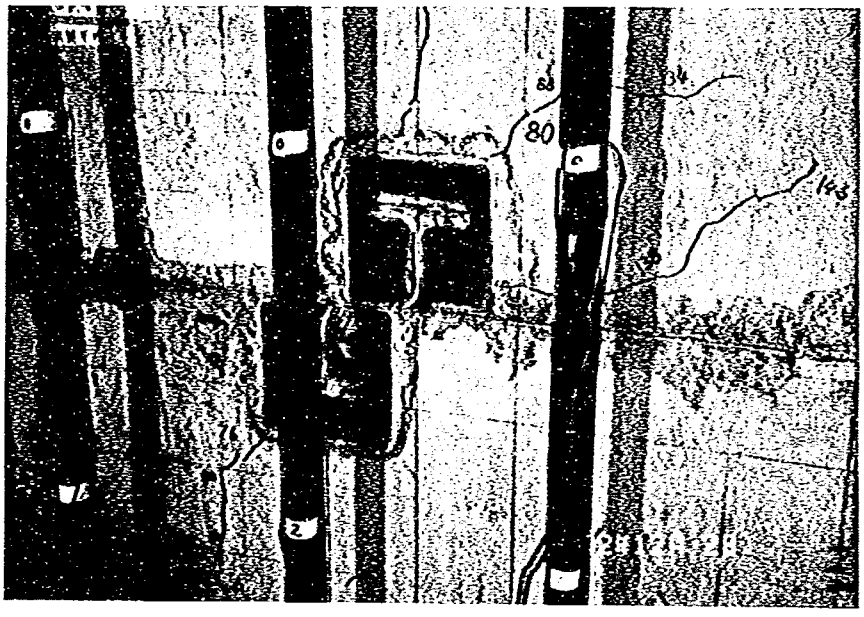


コンクリート打設面反対側

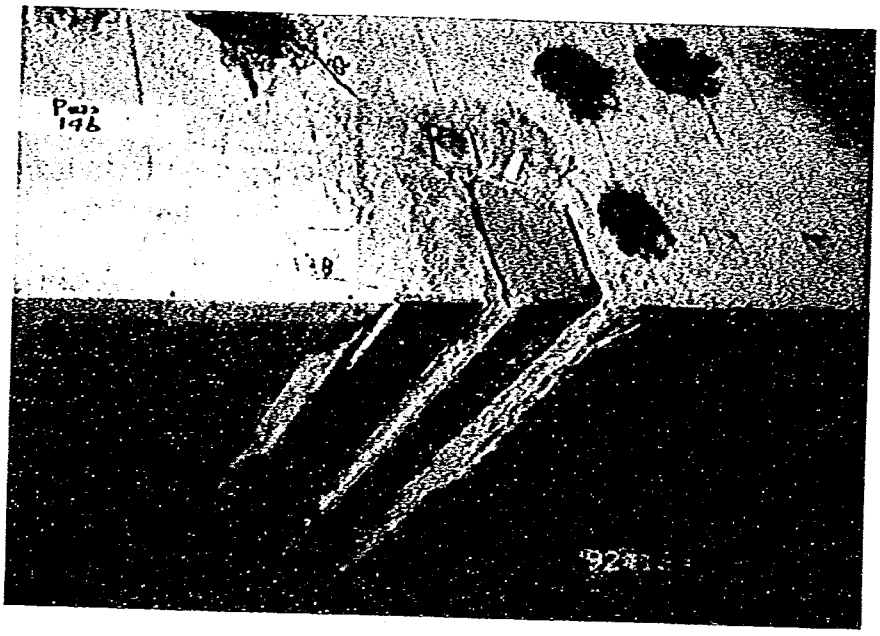
写真－３．２．２　鋼製平板キー（２）



コンクリート打設面側

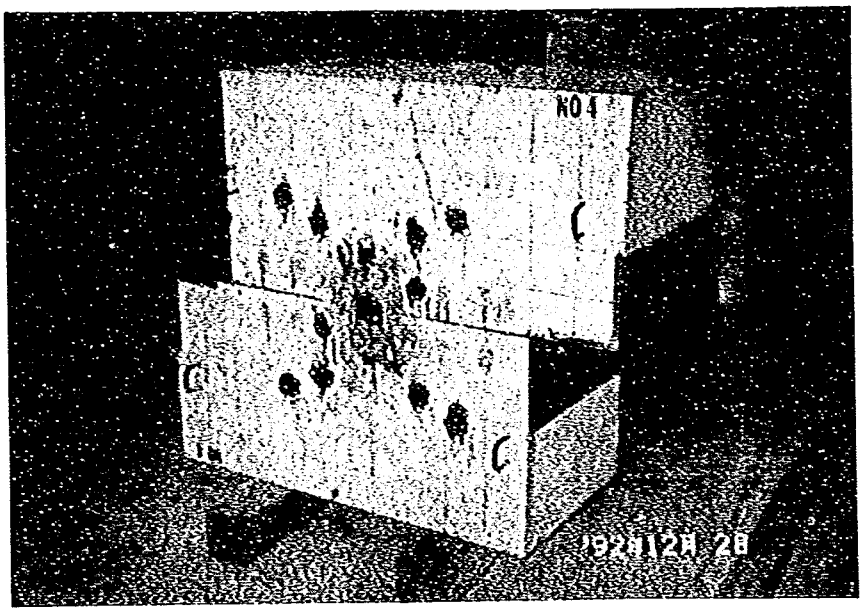


コンクリート打設面反対側

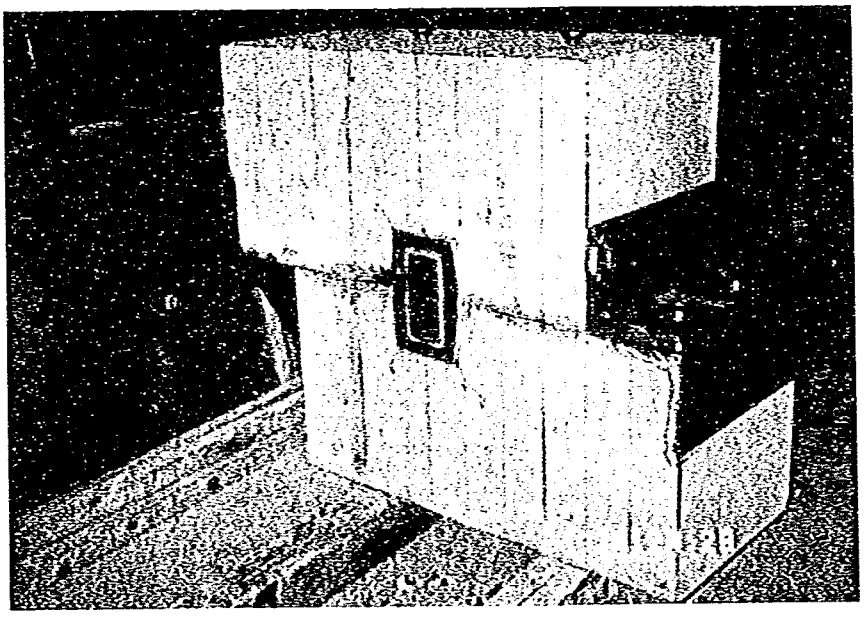


コンクリート打設面側

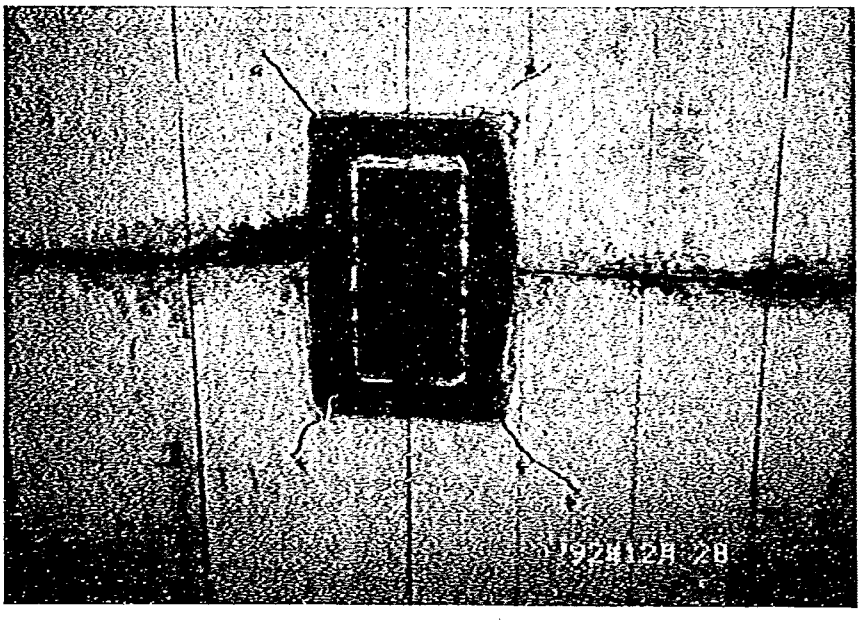
写真－３．２．３　鋼製平板キー（３）



コンクリート打設面側

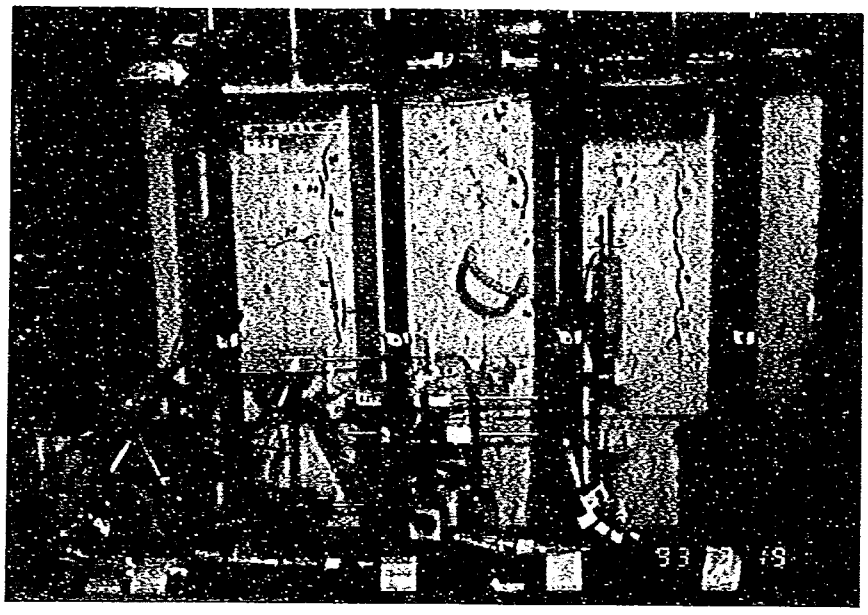


コンクリート打設面反対側

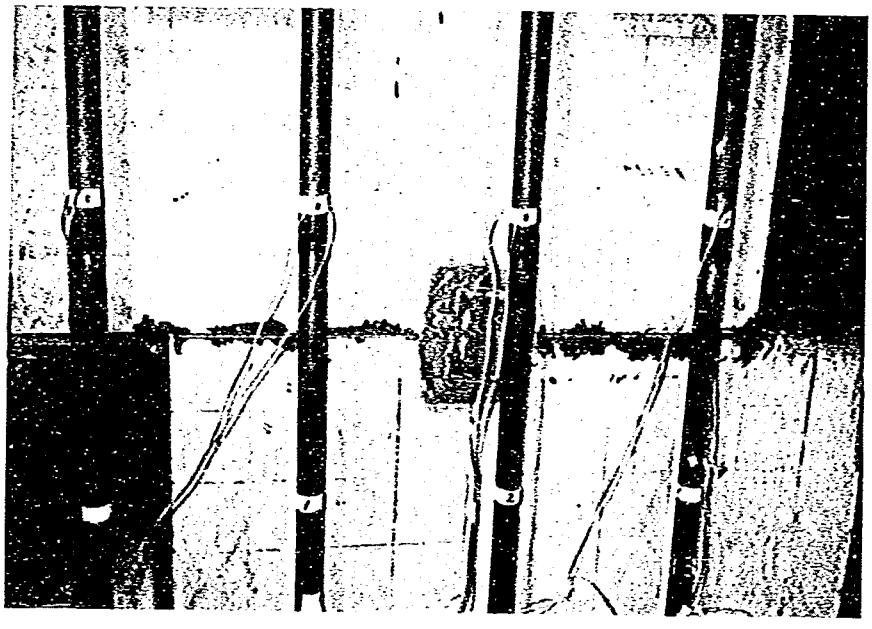


コンクリート打設面反対側

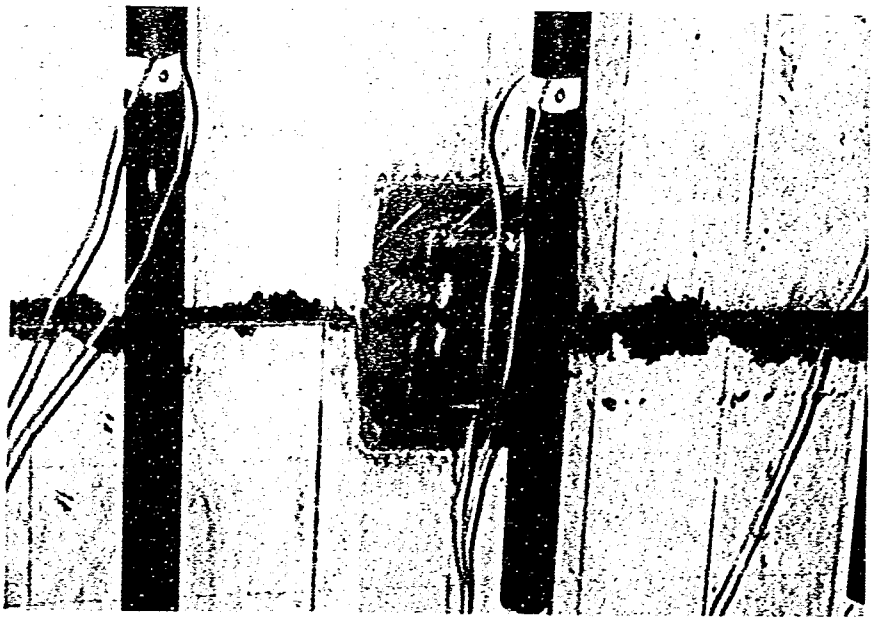
写真－３．２．４　角鋼管キー（１）



コンクリート打設面側

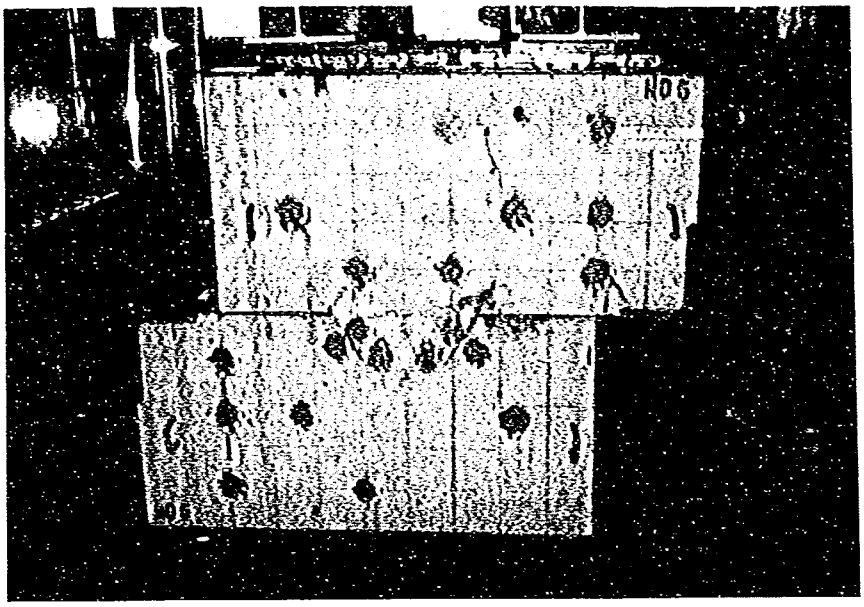


コンクリート打設面反対側

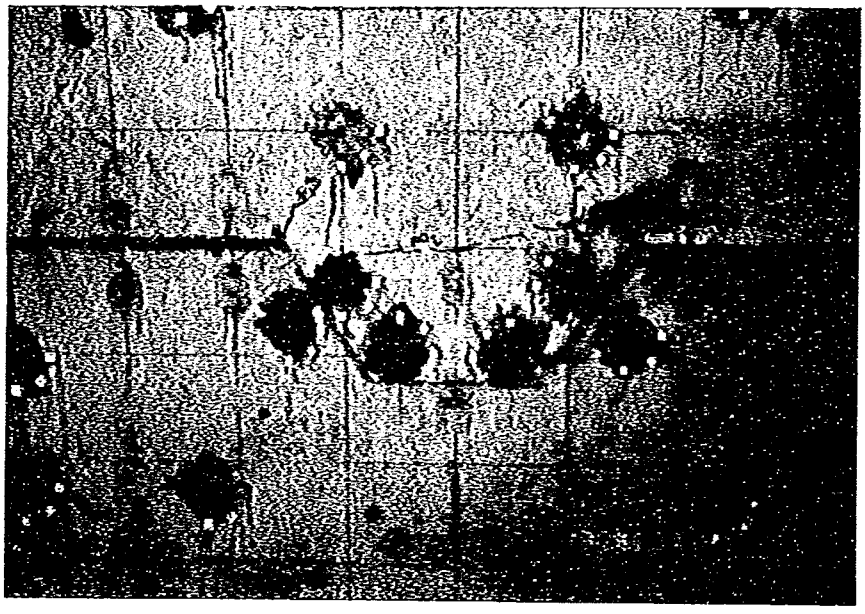


コンクリート打設面反対側

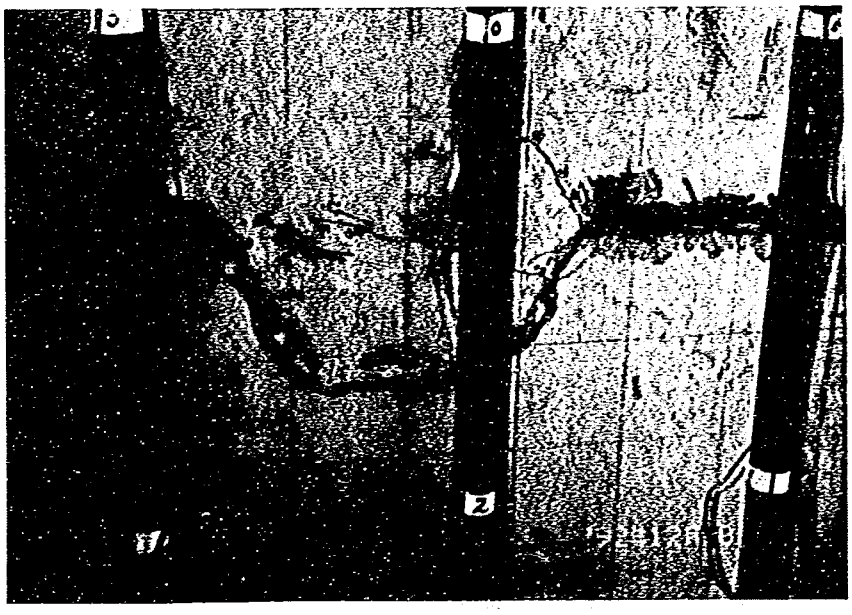
写真－３．２．５　角鋼管キー（２）



コンクリート打設面側

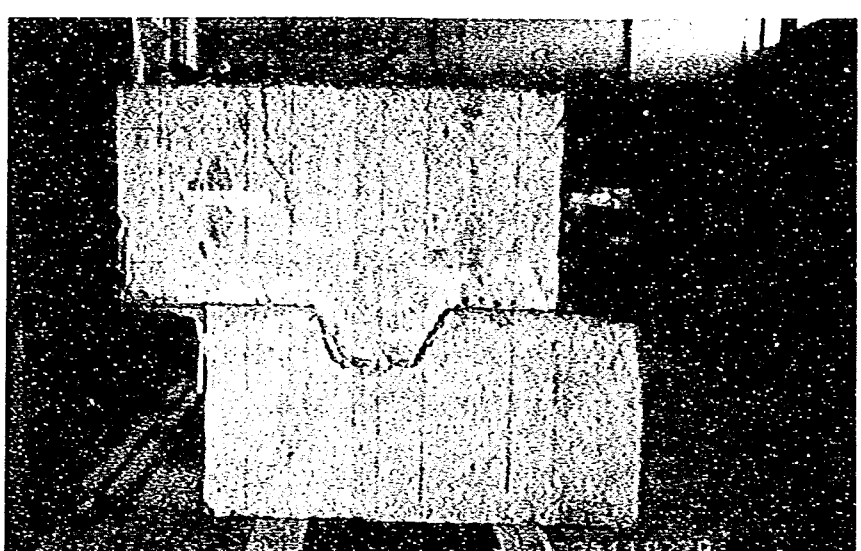


コンクリート打設面側



コンクリート打設面反対側

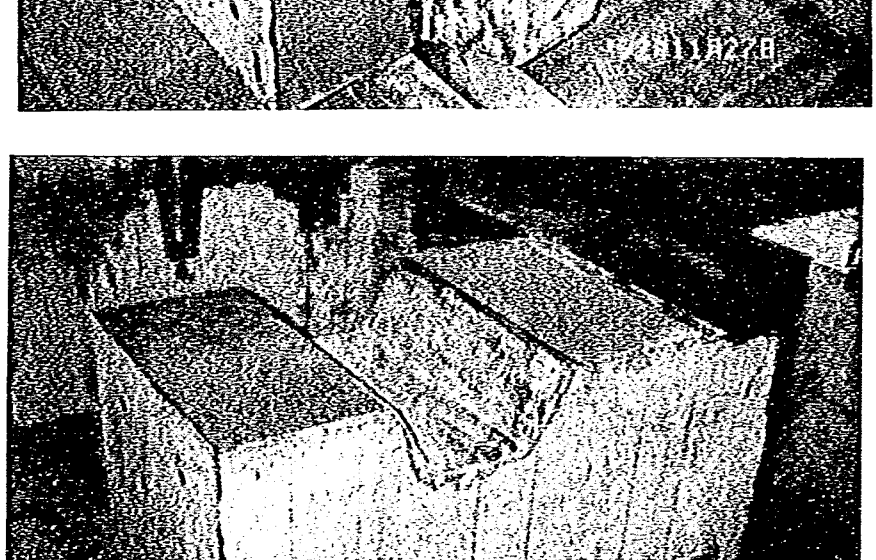
写真－3．2．6　コンクリート製キー（1）



コンクリート打設面反対側



肌色面はテフロン板
（摩擦低減用）



下部ブロックにはひび割れ
が入っていない

写真－３．２．７　コンクリート製キー（２）

3．2．2　評価

試験結果から各せん断キーの耐力、剛性および荷重に伴う軸引張力について考察する。

(1) せん断耐力の推定

1) 各供試体のせん断耐力

コンクリート製キーを除く５タイプの供試体について、鋼と充填モルタルのせん断耐力の和とし（コンクリート標準示方書の棒部材のせん断耐力の算定式を参照とした）表－３．２．２に示すとともに各供試体について評価する。

表－３．２．２　せん断耐力の推定式

	τs kgf/cm²	As cm²	τm kgf/cm²	Am cm²	V=τs*As+τm*Am tf	
No.1	1954	27.5	12.0	422.5	58.8	(62.0)
No.2	1954	28.0	14.5	472.0	61.6	(84.0)
No.3	1849	37.5	9.5	—	69.3	(52.0)
No.4	2537	44.0	14.1	886.0	124.1	(149.0)
No.4-2	2537	32.0		743.0	91.7	(100.0)

上表中

Ｖ：各供試体のせん断耐力の推定値(tf)

注）（）内の値は、せん断耐力の実験値であり、荷重－変位図の第一変曲点である。

τｓ：鋼材の降伏応力度より算出されたせん断強度の計算値(kgf/cm²)（表－３．２．３参照）

Ａｓ：鋼材の断面積(cm²)（表－３．２．４参照）

τｍ：モルタルの二面せん断試験結果から求まったせん断強度(kgf/cm²)（表－３．５．２参照）

Ａｍ：モルタルの断面積(cm²)

表－３．２．３　鋼材のせん断強度

	ｆｙ kgf/cm²	$\tau s=fy/\sqrt{3}$ kgf/cm²	備　　考
No.1,2	3385	1954	平板鋼
No.3	3202	1849	H形鋼
No.4	4395	2537	角鋼管(200*100*4.4)
No.4-2	4395	2537	角鋼管(125*75*3.2)

上表中

ｆｙ：鋼材の降伏応力度(kgf/cm²) ミルシートより

τｓ：vom Misesの降伏条件を適用

表－３．２．４　鋼材の断面積

	As cm^2	備　　考
No.1	27.5	5.5*50　　平板鋼
No.2	28.0	5.6*50　　平板鋼
No.3	37.5	7.5*50　　H形鋼
No.4	44.0	4.4*50*2　　角鋼管(200*100*4.4)
No.4-2	32.0	3.2*50*2　　角鋼管(125*75*3.2)

上表中、Ａｓ：鋼材の断面積(cm^2)

表－３．２．５　充填モルタルのせん断強度

	τm kgf/cm^2	備　　考
No.1	12.0	二面せん断試験結果より　(平板鋼)
No.2	14.5	〃　(平板鋼)
No.3	9.5	〃　(H形鋼)
No.4	14.1	〃　(角鋼管)
No.4-2		(角鋼管)

上表中、τｍ：充填モルタルの二面せん断試験による破壊時の応力度(kgf/cm^2)

＜評　価＞

・NO.1‥‥実験値と推定値はほぼ同程度の値である。

・NO.2‥‥実験値が推定値の約１．３倍であり、NO.1よりも大きくなった。これは、NO.2の鋼板の埋込み長が長いため、ダウエル効果が生じたためと思われる。実際の平鋼板のせん断もしくは引張強度に近い値であると思われる。

NO.3‥‥本推定値はモルタルの断面積が僅かであるため、そのせん断耐力を無視した。実験値が推定値を下回っているが。これは、角鋼管の開口部によってH型鋼のウェブが切断されたためと思われる。

NO.4‥‥数字の上では、実験値は推定値の約１．２倍となっているが、本実験の載荷装置の能力の影響で制限されているため、実験はもっと大きい値になったと思われる。

NO.4-2‥実験値と推定値はほぼ同程度の値である。

表－３．２．２のうちせん断耐力の実験値が大きかった３タイプ（NO.2,4,4-2)の供試体について検討を加えることとし、充填モルタルや鋼材の強度を既知として実験値から逆に鋼材や充填モルタルの強度を算出して比較検討を行った。

2) キー部の鋼材のせん断強度の検討（モルタルせん断強度を既知とした場合）

モルタルは、10×10×40cmの供試体により二面せん断強度が確認されている。そこでモルタルのせん断耐力は既知のものとし、以下の検討を行った。

各せん断キーのせん断耐力（実験値）からモルタルのせん断耐力（二面せん断試験結果）分を差し引き、残りのせん断力を全て鋼材で負担した場合の鋼材のみかけのせん断強度（τｓｃ）を求め、鋼材の試験結果表から求まるせん断強度（τｓ）との比較を下表に示す。

表－３．２．６　鋼材のせん断強度

	τm kgf/cm²	Am cm²	Vm tf	Ve tf	As cm²	τsc kgf/cm²	τs kgf/cm²	τsc／τs
No.2	14.5	472.0	6.8	84.0	28.0	2757	1954	1.4
No.4	14.1	886.0	12.5	149.0	44.0	3102	2537	1.2
No.4-2	14.1	743.0	10.5	100.0	32.0	2797	2537	1.1

上表中

Ｖｅ：せん断耐力の実験値であり、荷重－変位図の第一変曲点である(tf)

τｓｃ：鋼材で負担したと思われる見かけのせん断強度(kgf/cm²)

τｓ：鋼材の降伏応力度より算出したせん断降伏強度の計算値(kgf/cm²)

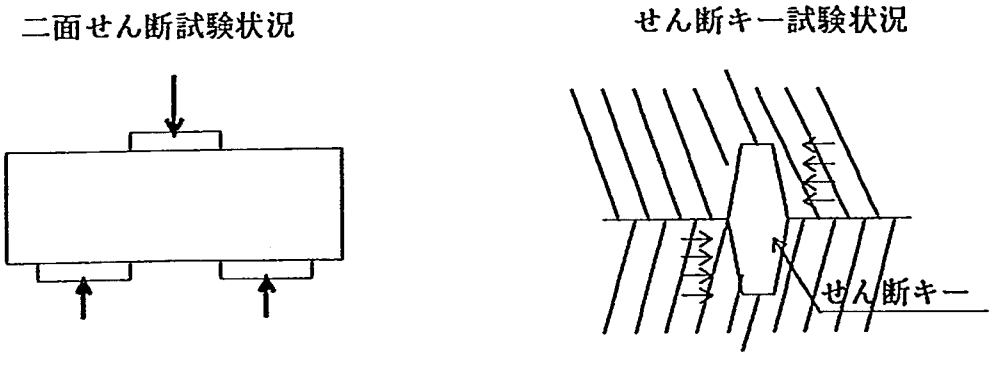
τｍ：充填モルタルの二面せん断試験結果(kgf/cm²)

Ａｍ：モルタルの断面積(cm²)

Ｖｍ：充填モルタルの二面せん断試験結果から求まったせん断耐力(tf)

Ａｓ：鋼材の断面積(cm²)

上表からτｓｃはτｓに比べて１．１～１．４倍大きくなっていることが分かる。これは、今回のせん断キー試験が変形を拘束された状態での試験であるため、モルタルのみかけのせん断強度が大きかったのにもかかわらず、二面せん断試験の値を用いてτｓｃを計算していることによること思われる（下図参照）。



図－３．２．２６　せん断試験試験概要図

3) モルタルのせん断強度の検討（鋼材の強度を既知とした場合）

2)とは逆に鋼材のせん断強度は既知のものとし、モルタルのせん断強度を求めた、各せん断キーのせん断耐力（実験値）から鋼材のせん断耐力を差引き、残りのせん断力を全てモルタルで負担した場合のモルタルのみかけのせん断強度（τmc）を求め、モルタルのせん断強度（τm）との比較表を下表に示す。

表－３．２．７　モルタルのせん断強度

	τs kgf/cm²	As cm²	Vs tf	Ve tf	τmc kgf/cm²	τm kgf/cm²	τmc／τm
No.2	1954	28.0	54.7	84.0	62.1	14.5	4.3
No.4	2537	44.0	111.6	149.0	42.2	14.1	3.0
No.4-2	2537	32.0	81.2	100.0	25.3	14.1	1.8

上表中

Ｖｅ：せん断耐力の実験値であり、荷重－変位図の第一変曲点である(tf)

τｃｍ：モルタルで負担したと思われるみかけのせん断強度(kgf/cm²)

τｓ：鋼材の降伏応力度より算出したせん断降伏強度の計算値(kgf/cm²)

τｍ：モルタルの二面せん断試験結果から求まったせん断強度(kgf/cm²)

Ａｍ：モルタルの断面積(cm²)

Ｖｓ：鋼材の降伏強度から求めた鋼材のせん断耐力(tf)

Ａｓ：鋼材の断面積(cm²)

上表からτｃｍはモルタルの二面せん断試験の結果τｍに比べて１．８～４．３倍となり、ばらつきがあるもののいずれも大きくなっている。これは前項で述べたように今回の試験ではモルタル強度がみかけじょう大きくなったことに起因すると思われる。

4) 鋼材のひずみ（実験値）を用いた検討

前記2)および3)において（充填モルタル、鋼材）の強度を仮定し実験値と比較することにより検討を行った。

次に、荷重－変位図における各変曲点（図－3．2．1参照）での鋼材のひずみ（図－3．2．17、図－3．2．19および図－3．2．20参照）から検討を加えるものとする。下表に各鋼材の変曲点でのひずみを示す。

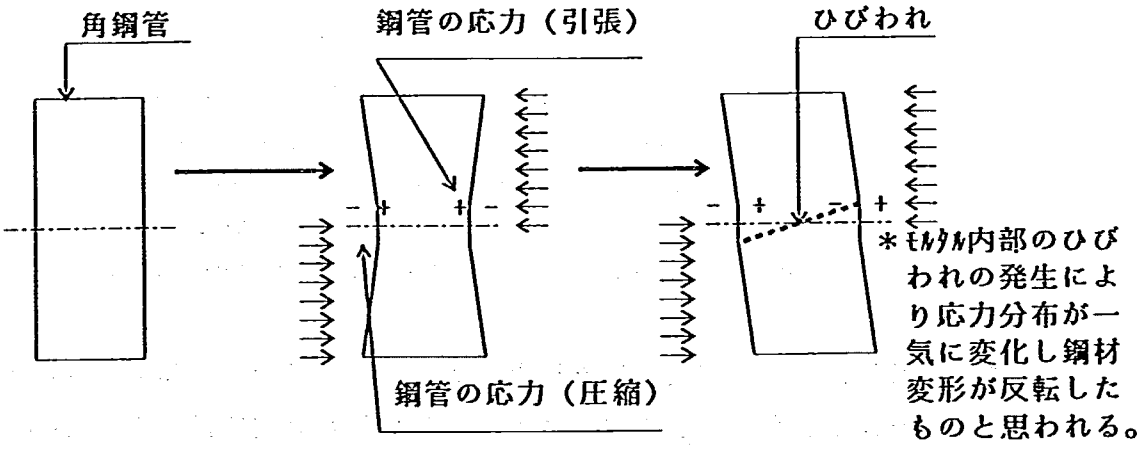
表－3．2．8　鋼材のひずみ

	V tf	ひずみ μ	備　　考
No.2	84.0	1000	
No.4	149.0	500	内部のモルタルにひび割れが生じておらず、鋼管応力の反転が生じていない。
No.4-2	100.0	1000	内部のモルタルにひび割れ発生と同時に鋼管応力が反転している。

注）ひずみの値は図より求めたものである。

上表におけるNO.4-2で、鋼材応力が反転した理由はモルタル内部のひび割れ発生に伴って鋼材の変形が反転したものと思われる（下図参照）。また、鋼材の弾性係数（ヤング係数）を用いて鋼材の応力度を求めてみると以下のようになる。

$$\tau s = 1000 \times 10^{-6} \times 2.1 \times 10^{6} = 2100 kgf/cm^2$$



図－3．2．37　角鋼管応力反転概要図

5) コンクリート製キーに関する検討 (No. 5, No. 6)

本実験におけるコンクリート製キーの実験は、載荷方法の関係より凸側のみの試験となった。また、実験において垂直方向の補強鉄筋（AV）およびスターラップ（AB）には圧縮応力度が発生し、実構造物で生じる面外せん断力による応力状態と異なると思われるので、これらの鉄筋の検討は今回除外することとした。下表に道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編（以下、道示Ⅲと略記）の補強筋算定式によって算出される鉄筋応力度と実験のひずみから求められる鉄筋応力度との比較を示し、その安全率について検討した。

表－3．2．9

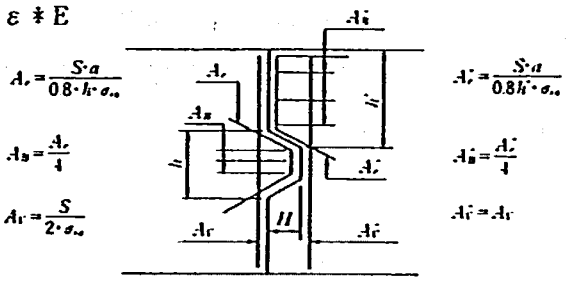
	S tf	a cm	h cm	Ae cm²	ε μ	σ sc kgf/cm²	σ se kgf/cm²	σ sc / σ se
No. 5	100	6.25	30	3.801	340	6851	714	9.6
	150					10277		
No. 6	100	6.25	30	7.602	180	3426	378	9.1
	150				270	5138	567	9.1

上表中、

S, a, h, Ae：下図参照　　ε：各載荷重での鉄筋の軸ひずみ

σ sc：S·a/(0.8·h·Ae)　　E：鉄筋の弾性係数(2.1*10⁶kgf/cm²)

σ se：ε*E



ただし、A_V, A'_V：補強鉄筋の断面積 (cm²)　　σ_{sa}：鉄筋の許容応力度 (kgf/cm²)

A_B, A'_B：スターラップの断面積 (cm²)　　S：接合キーの設計荷重 (kgf)

A_H, A'_H：垂直方向補強鉄筋の断面積 (cm²)　　a：支点から荷重作用点までの距離=H/2 (cm)

図－３２３８　鉄筋コンクリート製接合キーの補強筋

上表からNo. 5, 6共に安全率は９以上であり、道示Ⅲの補強筋算定式は十分安全であることが確認された。道示Ⅲに示されている補強筋算定式は、Ae、AB、AV が総合してせん断力を受け持たず、各々単独でせん断力を負担した場合の鉄筋量を算定する式となっているが、本実験においてもAB、AVは圧縮状態となっており、Ae のみで負担されたものと思われる。

(2) 剛性の比較

剛性の比較を荷重／水平変位、すなわちせん断バネ定数(tf/㎜)にて行うこととし、２５tfピッチで表－３．２．１０に示す。なお、このときの水平変位については、回転から発生する水平変の影響を除去した値を用いた。表－３．２．１１Ⅱ供試体の回転による水平変位の一覧を示す。

表－３．２．１０　せん断バネ定数（荷重－水平変位の比率）：γ(tf/㎜)

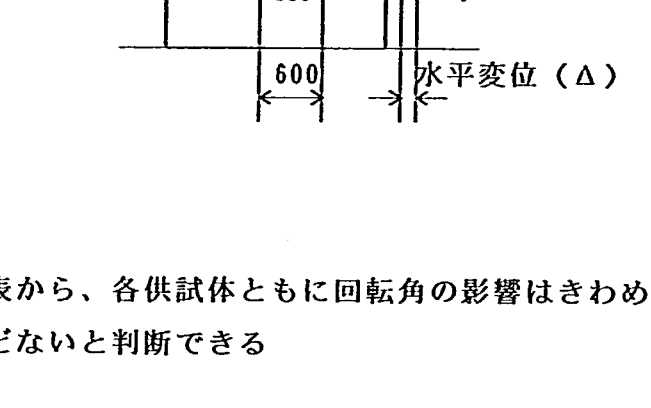
供試体 / 荷重(tf)	No.1	No.2	No.3	No.4	No.4-2	No.5	No.6
25	180	71	34	53	22	38	43
50	103	75	30	73	36	49	60
75		67	8	81	40	49	77
100			8	79	39	60	80
125			7	80	11	68	90
150			7	64	10	79	91

上表から耐力かつ剛性の大きい角鋼管キーとコンクリート製キーが有力といえる。

表－３．２．１１　供試体の回転による水平変位

供試体 / 荷重(tf)	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 4-2	No. 5	No. 6
25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
50	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000
75		0.001	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000
100			0.000	0.002	0.002	0.000	0.000
125			0.001	0.002	0.002	0.000	0.000
150			0.001	0.001	0.003	0.000	0.000

＜概　要　図＞



θ 1=ATAN((D2-D1)/600)
θ 2=ATAN((D3-D4)/600)
θ　=θ 1-θ 2
Δ　=600*(1-COSθ)

D1～D4:各測点鉛直変位(mm)
θ 1:上部ﾌﾞﾛｯｸの回転角(度)
θ 2:下部ﾌﾞﾛｯｸの回転角(度)
θ　:合成の回転角(度)
Δ　:水平変位量(mm)

上表から、各供試体ともに回転角の影響はきわめて少なく、水平変位への影響はほとんどないと判断できる

(3) 軸引張力に対する評価

今回の実験において水平荷重を載荷するに伴い、供試体の浮き上がり防止のためＰＣ鋼棒を配置したが、この浮き上がり力が実際のケーソンでは面外せん断力の作用に伴う軸引張力であり、「くさび接合継手」の設計に反映させる必要がある。

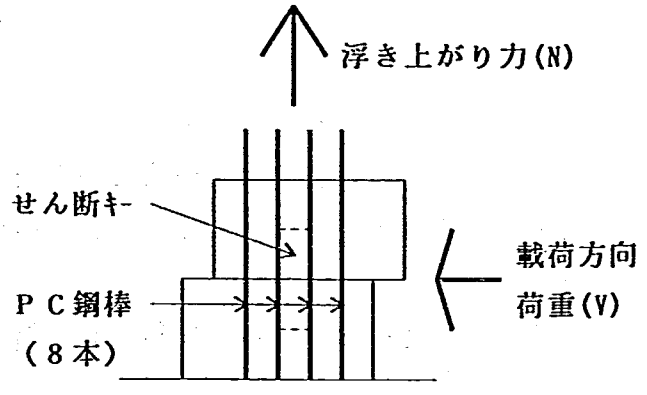
そこで、荷重と軸引張力の関係を整理することとし、まず表－３．２．１２には載荷荷重に対する浮き上がり力を、また次項（表－３．２．１３）には、載荷荷重に対する浮き上がり力の割合を２５(tf)ピッチで示し、どの程度浮き上がり力が発生するのかを検証する。

表－３．２．１２　荷重(鉛直)－浮き上がり力（N）　(tf)

供試体 / 荷重(tf)	No.1	No.2	No.3	No.4	No.4-2	No.5	No.6
25	3.40	5.50	5.20	5.30	6.45	6.75	8.15
50	10.10	12.30	11.40	11.50	12.10	10.60	17.40
75		20.60	11.30	19.20	18.90	19.25	27.05
100			12.80	27.00	31.90	23.90	37.30
125			17.00	35.40	56.65	32.20	46.90
150			24.40	47.40	79.70	38.90	55.90

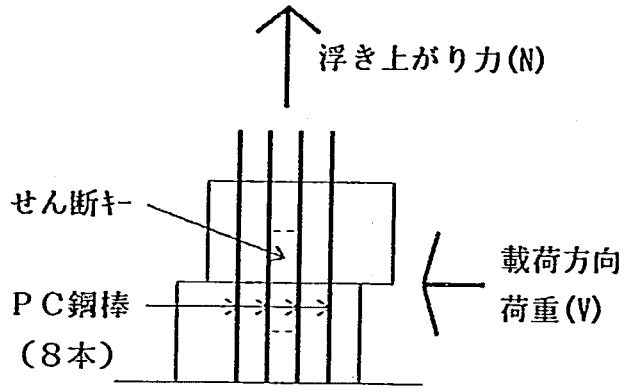
但し、浮き上がり力は、下図に示す８本のＰＣ鋼棒の合力とする。

＜載荷概要図＞



表－３．２．１３　浮き上がり力（N）／荷重(鉛直)

供試体 / 荷重(tf)	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 4-2	No. 5	No. 6
25	0. 135	0. 229	0. 205	0. 212	0. 254	0. 264	0. 323
50	0. 201	0. 245	0. 224	0. 228	0. 239	0. 211	0. 348
75		0. 273	0. 150	0. 256	0. 251	0. 259	0. 361
100			0. 128	0. 271	0. 318	0. 239	0. 371
125			0. 136	0. 282	0. 453	0. 258	0. 374
150			0. 168	0. 318	0. 532	0. 261	0. 379



今回の実験のすべての供試体（No. 1～No. 6）において、浮き上がり力が発生した。載荷装置の能力最大（P=150tf）まで載荷しても破壊しなかった No. 4, 5, 6 の供試体では、表－３．２．１３に示すように、作用荷重の 26. 1%～37. 9%の浮き上がり力であった。

３．３　まとめ

本実験では、オープンケーソンプレキャスト躯体の継手選定にあたり、面外せん断力に対する「くさび継手」使用時のせん断耐力向上を図るため、「せん断キー」試験を通じて耐力・剛性などの「せん断キー」特性の把握を行ったものである。

「せん断キー」に関する一連の実験を通じて得られた結果をまとめると以下の通りである。

(1) せん断耐力

今回の実験における７種類のせん断キー供試体のうち、載荷装置の最大能力（P=150 tf）まで載荷しても破壊に至らない供試体が、３タイプ［角鋼管キー（1）、コンクリート製キー（1）、（2）］となった。

この３タイプにつては、耐力的に優劣はつけ難く、３供試体いずれも十分な耐力を有したせん断キーといえる。また、No.1の鋼製平板キー（200×200×5.5）は、単に鋼製の平板を箱抜き部にセットし、無収縮モルタルを充填するせん断キーとしただけであったが、ある程度の耐力（60tf）が確保でき、平板の埋め込み長を10cm長くしたNo.2供試体（300×300×5.6）では、その耐力も20tf程度さらに増加可能であることが実験にて判明した。さらに、No.4-2の角鋼管（125×75×3.2）でも鋼製平板キーよりは大きな耐力を確認した。これは、角鋼管という閉塞断面と角鋼管内部への充填モルタルの相乗効果により、せん断キーとしての機能を十二分に発揮していると思われる。

(2) 剛　性

上記のように、大きいせん断耐力を示したNo.4、No.5およびNo.6の各供試体は、剛性においてもほぼ同程度の大きい値を示した。尚、３供試体とも初期荷重（0～20tf）における剛性は、若干低い値を示したが、これは上下供試体同志のなじみの影響と思われる。

(3) 軸引張力

今回の実験すべての供試体（No.1～No.6）において、浮き上がり力は発生したが、載荷装置の能力最大（P＝150tf）まで載荷しても破壊しなかったNo.4,5,6の各試供体は、作用荷重の26.1～37.9%の浮き上がり力が発生した。

今回の実験より、せん断キーを採用する場合、面外せん断力作用時には作用荷重の約30%が軸引張力として発生するため、この軸力を「くさび継手」の設計に反映させる必要があると思われる。

4．くさび継手内充填効果確認実験（平成４年度）

4．1　実験目的

本実験は、くさび継手のくさびが抜け出しゆるみが生じないようくさび継手内に充填した、充填材の効果を確認することを目的とする。

4．2　実験ケース

くさび継手を以下の３種類の方法で固定し、載荷試験を行い、くさびの引抜き力を計測する。

ＴＹＰＥ１：くさびを一定の力Ｐo（=3.5t）で挿入（無充填）。

ＴＹＰＥ２：供試体に充填材を入れ、くさびをＰo（=3.5t）で挿入。

ＴＹＰＥ３：供試体に充填材を入れ、くさびを手で挿入。

なお、実験は建設省土木研究所土質共同実験棟内で行った。

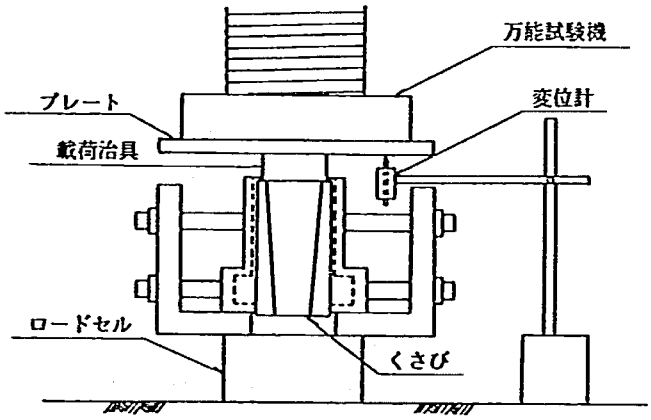
4．3　実験方法

(1) 載荷装置

万能試験機（アームスラー）２００ｔｆクラス

(2) 載荷方法

載荷は、図－４．３．１に示すようにし、０．５ｔｆピッチで行う。



図－４．３．１　載荷方法

(3) 計測方法

各荷重段階における、くさびの変位量（抜け出し量）を計測する。

(4) 供試体製作

①製　作

ＴＹＰＥ１：くさびをＰo（=3.5t）で挿入。

ＴＹＰＥ２：充填材を入れ、くさびをＰo（=3.5t）で挿入。

ＴＹＰＥ３：充填材を入れ、くさびを手で挿入。

②養　生

土質共同実験棟内で養生を行い、養生時間は２４時間とする。

(5) 充填材料の特性

充填材料の特性を表－４．３．１および表－４．３．２に示す。

表－４．３．１　充填材性状

	主　剤	硬　化　剤
主　成　分	エポキシ樹脂	変性ポリアミドアミン
外　　観	白色パテ状	暗灰色パテ状
配合比（重量）	主剤／硬化剤＝１／１	
比　　重	１．５　（２０° C）	
可使時間	２５分　（２０° C、１Kg）	
指触硬化時間	１５０分　（２０° C）	

表－４．３．２　充填材物性

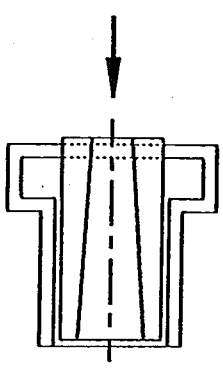
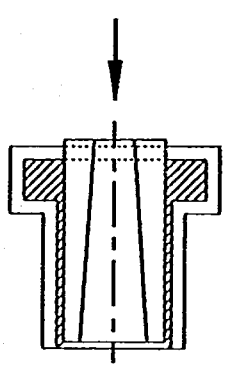
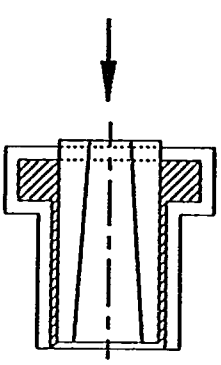
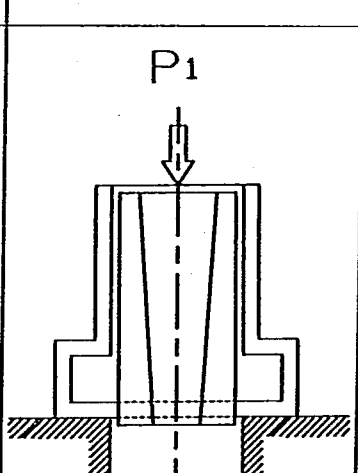
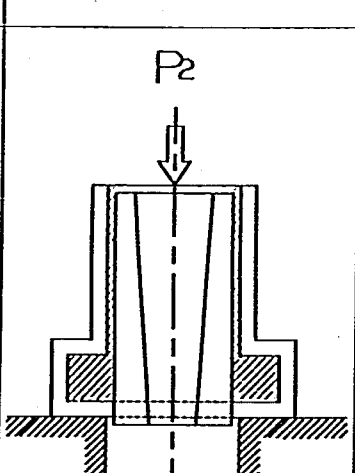
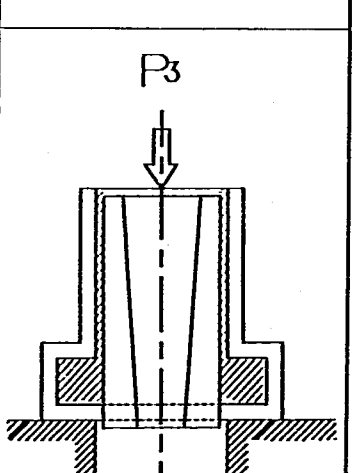
項　　目	強　　さ	試　験　方　法
圧縮強さ	８５０Kg/cm²	JIS K 6911
圧縮弾性係数	３．５×１０⁴Kg/cm²	-
曲げ強さ	４００Kg/cm²	JIS K 6911
曲げ弾性係数	７．６×１０⁴Kg/cm²	JIS K 6911
引張強さ	２２０Kg/cm²	JIS K 6911
引張剪断接着強さ(Fe-Fe)	１７０Kg/cm²	JIS K 6850
曲げ接着強さ (ﾓﾙﾀﾙ-ﾓﾙﾀﾙ)	水　中　４２Kg/cm² 湿潤面　４８Kg/cm² 乾燥面　６３Kg/cm²	JIS R 5201

（メーカー試験値）

４．４　実験結果

実験結果を表－４．４．２に示す。

表－４．４．１　載荷試験一覧表

TYPE	TYPE　1	TYPE　2	TYPE　3
製作概要図	P_0 ＝3.5 t 	P_0 ＝3.5 t 	P_0 ＝0 
製作概要	従来通りにくさび継手にくさびをP_0の力で挿入する。	継手に予め充填材を注入し、その後P_0の力でくさびを挿入する。	継手に予め充填材を注入し、その後くさびを手で挿入する。
供試体数	3個(c-1,c-2,c-3)	3個(c-1,c-2,c-3)	3個(c-4,c-5,c-6)
載荷試験概要図	P_1 	P_2 	P_3 
試験概要	継手を架台に乗せ、くさびの下面より載荷しくさびが抜出す荷重を測定する。	同　左	同　左
想定荷重	$P_1 = P_0 = 3.5$ t	$P_2 = 9$ t ＋3.5 t ＝12.5 t	$P_3 = 9$ t

注）想定荷重に用いた９ｔの算定根拠

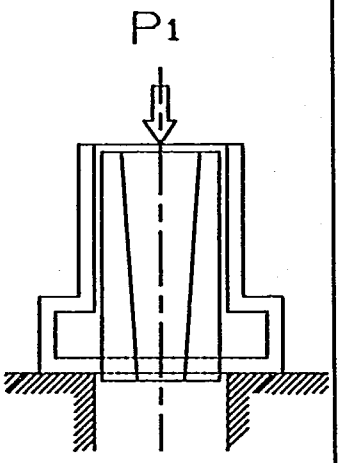
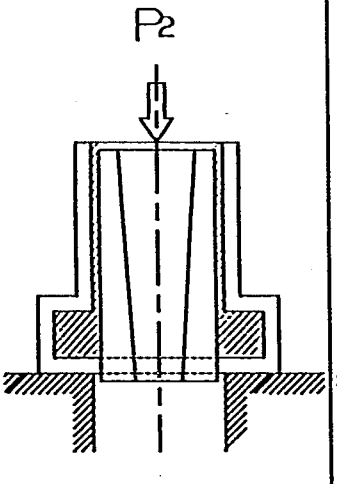
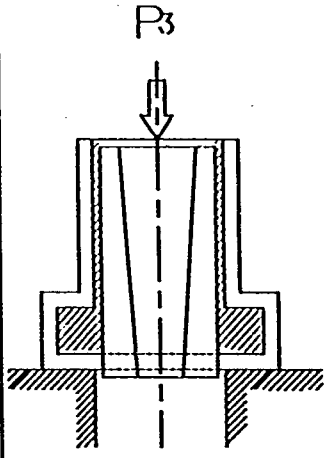
・Ｈ型金物の付着面積＝（５．６＋２．８）×１２×２＝２０２ｃｍ²

・５度で２４時間養生の場合圧縮強度は約２６％（メーカー値）

・接着強さが圧縮強度に比例すると仮定し、

P_3＝２０２ｃｍ²×１７０kgf/ｃｍ²×２６％＝９ｔ

表－４．４．２　くさび継手内充填の効果確認事件結果

くさび打込み力		３．５ｔｆ						０ｔｆ（手で挿入）		
		な　し			充　填			充　填		
概要図										
実施日	充　填	―――			12月21日　14時～15時					
	載　荷	12月21日　10時～11時			12月22日　14時～16時					
供試体番号		C－1	C－2	C－3	C－1	C－2	C－3	C－4	C－5	C－6
充填率　%		0	0	0	93	101	99	101	97	86
最大荷重　ｔｆ		1.44	2.29	1.77	8.64	9.67	10.72	5.72	6.33	5.37
		平均　1.83			平均　9.68			平均　5.81		
記　事		1.充填率算出にあたって ・Ｈ型挿入後の容積 138.4㎤（参考：Ｈ型挿入前の容積259.6㎤） ・充填材の比重 1.79（メーカーにて測定） ・充填率が100%を越す供試体もあるが、これはアンカー筋用のネジ穴の閉塞位置等にバラツキが出たためと考えられる。 2.充填後の養生 ・実験棟内２４時間静置 ・気温７～８°Ｃ（養生中連続測定）								

4．5　考察

（1）充填材の効果について

くさび挿入力3.5tfで、充填材がある場合とない場合の平均荷重の差は7.85tfで、くさび挿入力を0tfとした場合の平均荷重は5.81tfであった。

想定荷重9tfに比べると小さいが、これは養生温度を低く抑えたためと思われる。

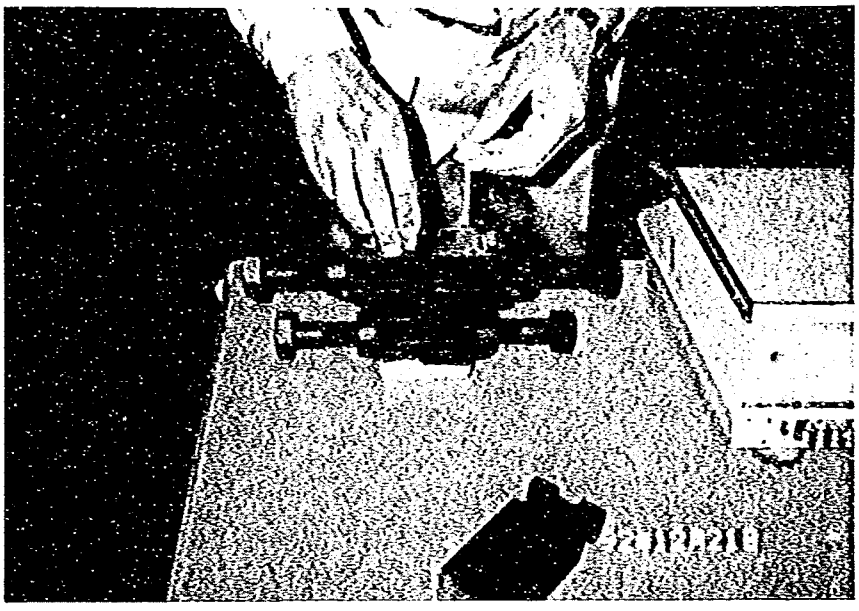
厳しい条件を想定した養生でも、5tf以上の抵抗が発揮できたということは、くさびの引き抜き防止を目的とした充填材の効果としては十分であると考えられる。

また、充填材の効果は継手金物と充填材との付着力よりも、H型くさびの凹部に詰まった充填材自体のせん断抵抗力によって発揮されているものと思われる。

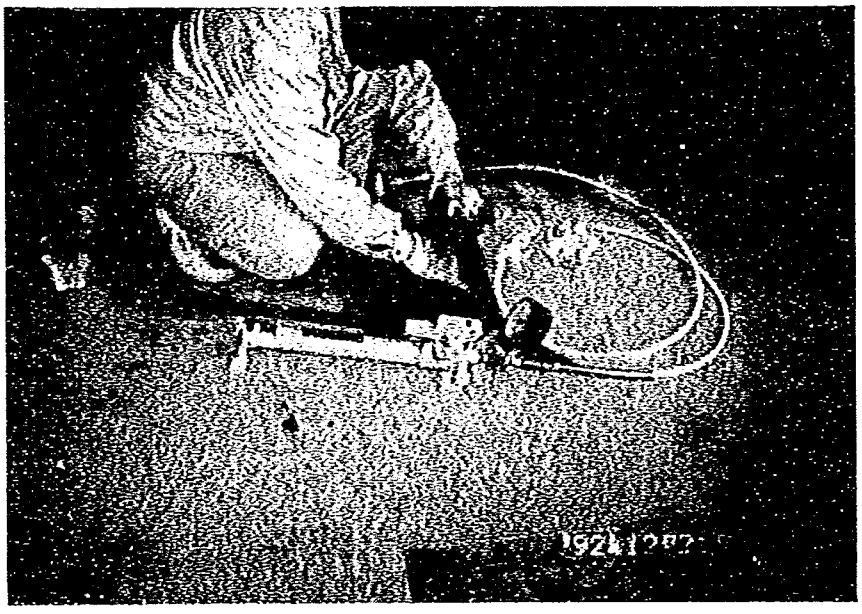
（2）充填材の施工性について

主剤と硬化剤の配合比が１：１と最も単純なため、計量は難なく行え。また、混合も粘土を練る要領で色違いの２種類の樹脂を均一なグレー色になるまで行うだけでよく、特に問題なく行えた。

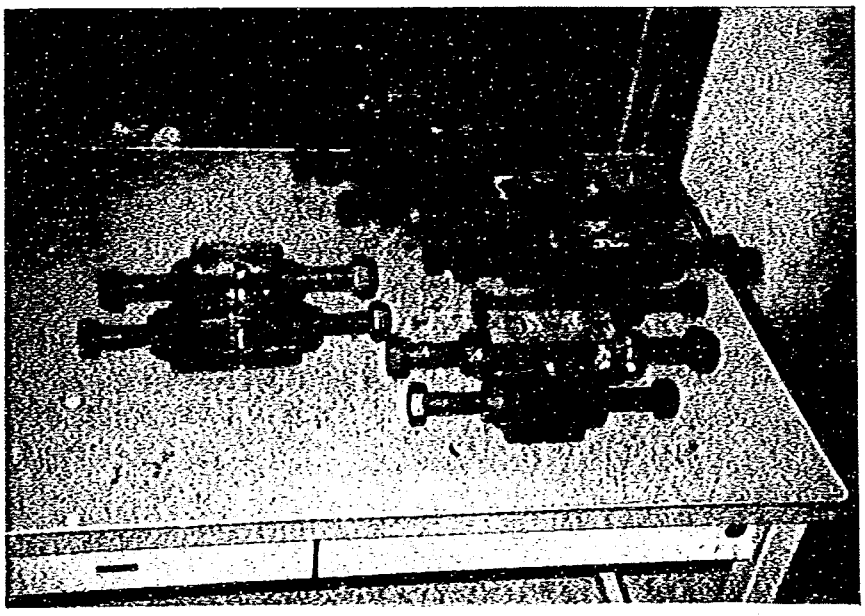
継手内への充填の挿入も問題なく行えた。



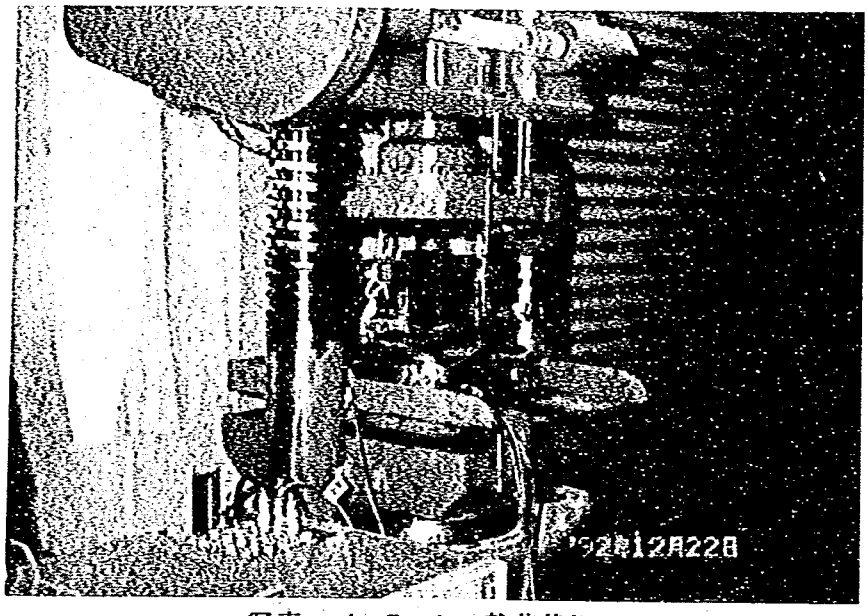
写真－４．５．１　継手内への充填材充填



写真－４．５．２　くさびの挿入(C-1, C-2, C-3)



写真－４．５．３　載荷前の供試体　(C-1～C-6)



写真－４．５．４　載荷状況



写真－４．５．５　載荷後の供試体
(C-1, C-2, C-3)



写真－４．５．６　載荷後の供試体
(C-4, C-5, C-6)

5．大型継手面外せん断実験（平成４年度）

5．1　実験概要

5．1．1　実験目的

本実験は、平成４年度に最適タイプとして選定した「角鋼管キー」を、平成３年度実施した大型供試体による面外せん断試験の「くさび接合継手」に付加し、それら複合継手の載荷試験をとおして、耐力および剛性を確認・評価することを目的としたものである。そのため、本実験においては特に以下の項目について確認することとした。

①本複合継手の継手なしタイプに対する面外せん断強度の確認

②「角鋼管キー」の面外せん断に対する耐力・剛性向上効果の確認

③「角鋼管キー」の面外せん断に対する抵抗機構の確認

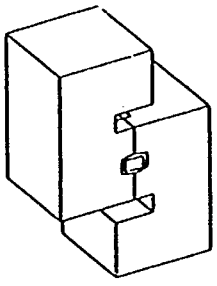
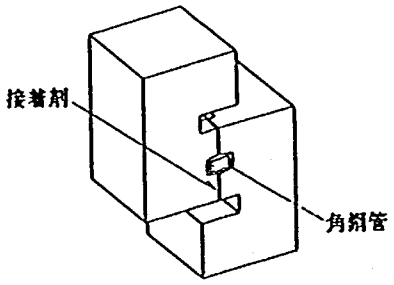
④　供試体間に塗布した接着材の効果の確認

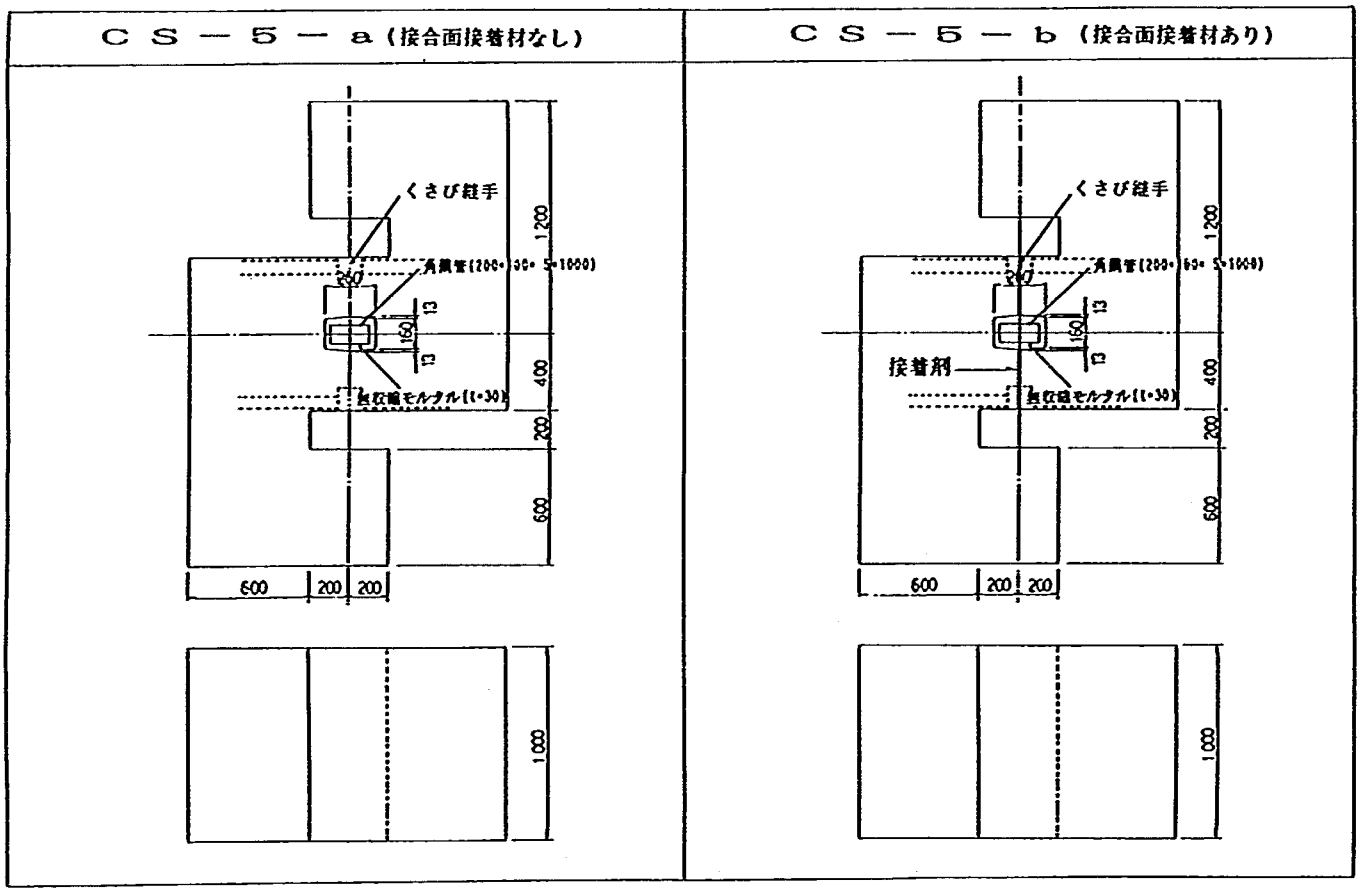
5．1．2　実験ケース

図－５．１．１に示すくさび継手および角鋼管キーにより接合された供試体に対し、静的面外せん断試験を実施した。供試体の種類としては、接合面に接着剤を塗布するか否かの２種類である。なお、本実験ではくさび継手の空隙に樹脂の充填を行ったもので実施した。

実験概要を表－５．１．１に示す。

表－５．１．１　実験概要表

	ＣＳ－５－ａ（接合面接着剤なし）	ＣＳ－５－ｂ（接合面接着剤あり）
供試体概要図		
共通諸元	載荷断面寸法　Ｂ×Ｈ＝100cm ×80cm ｺﾝｸﾘｰﾄ強度　σｃ＝400kgf/cm2 主鉄筋　Ｄ１９×５（ＳＤ３０）	同左
個別諸元	接合面接着剤なし	接合面接着剤あり
事前計算許容荷重	Ｐａ＝３９．６ｔ	Ｐａ＝３９．６ｔ
計測項目	荷重　変位　主鉄筋歪　補強鉄筋歪 コンクリート歪　ひび割れ状況 くさび継手歪　くさび継手アンカー筋歪 くさび継手変形状況 角鋼管歪	同左

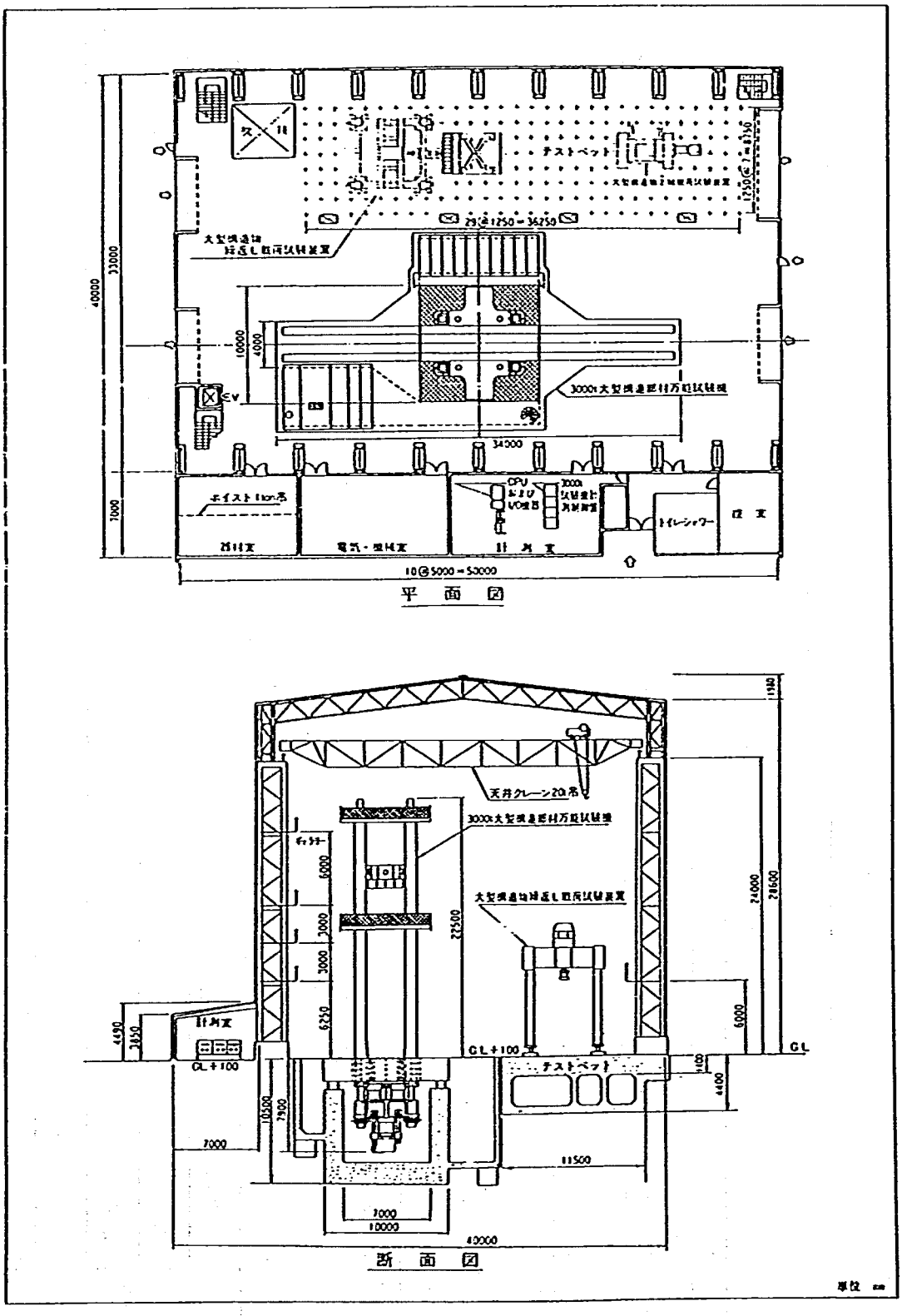


図－５．１．１　供試体概要図

５．１．３　実験場所、載荷装置および実験工程

構造実験は建設省土木研究所構造物実験施設棟にて、３０００tonf大型構造部材万能試験機を用いて実施した。

図－５．１．２に構造物実験施設棟概要図を、また表－５．１．２に供試体製作を含めた実験工程表を示した。



図－５．１．２　構造物実験施設棟概要図

表－５．１．２　継手要素実験実施工程表

供試体製作

月	日	2月																											
		1	2	3	4	5	⑥	⑦	8	9	10	⑪	12	⑬	⑭	15	16	17	18	19	⑳	㉑	22	23	24	25	26	㉗	㉘
		月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日
供試体製作	ゲージ貼り	←				→																							
	コンクリート打設								↔				↔				↔						↔	←	養		生		→
	備　考																												

試験　於:建設省土木研究所構造物実験施設

月	日	3月																														
		1	2	3	4	5	⑥	⑦	8	9	10	11	12	⑬	⑭	15	16	17	18	19	⑳	㉑	22	23	24	25	26	㉗	㉘	29	30	31
		月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水
試験	供試体搬入				養		生			→	↔																					
	供試体接合										↔		↔	←					養		生		→									
	載荷準備												モルタル打設										↔		↔							
	載　荷																						後処理なし ↔		後処理あり ↔							
	後片付け																										↔			↔		
	備　考																															

5．1．4　試験供試体と使用材料

実験に使用した供試体構造図を図－5．1．3および図－5．1．4に示した。

また、供試体コンクリートの示方配合は表－5．1．3に示したとおりである。

表－5．1．3　躯体コンクリートの示方配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水ｾﾒﾝﾄ比:W/C (%)	細骨材率:S/a (%)	単位量 (kgf/m³)				
					水	ｾﾒﾝﾄ	細骨材	粗骨材	混和剤
20	8±2	2±1	38.0	45	171	450	785	989	5.63

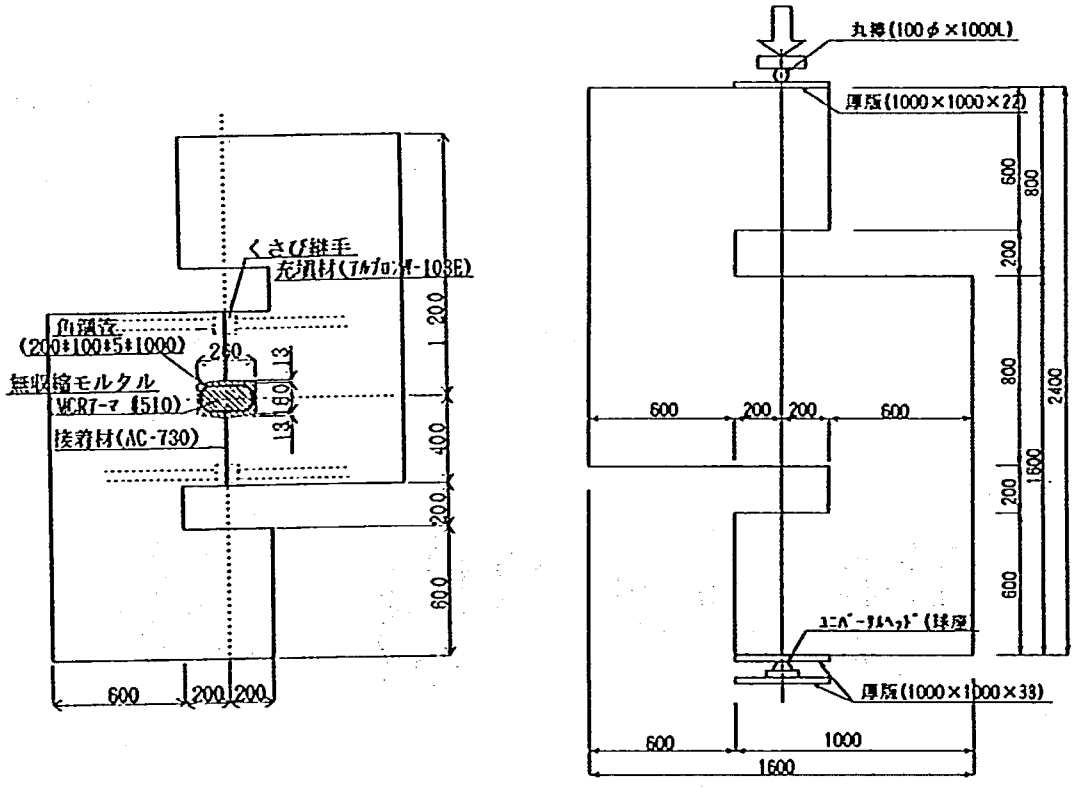
5．1．5　実験方法と計測項目

(1) 供試体の接合

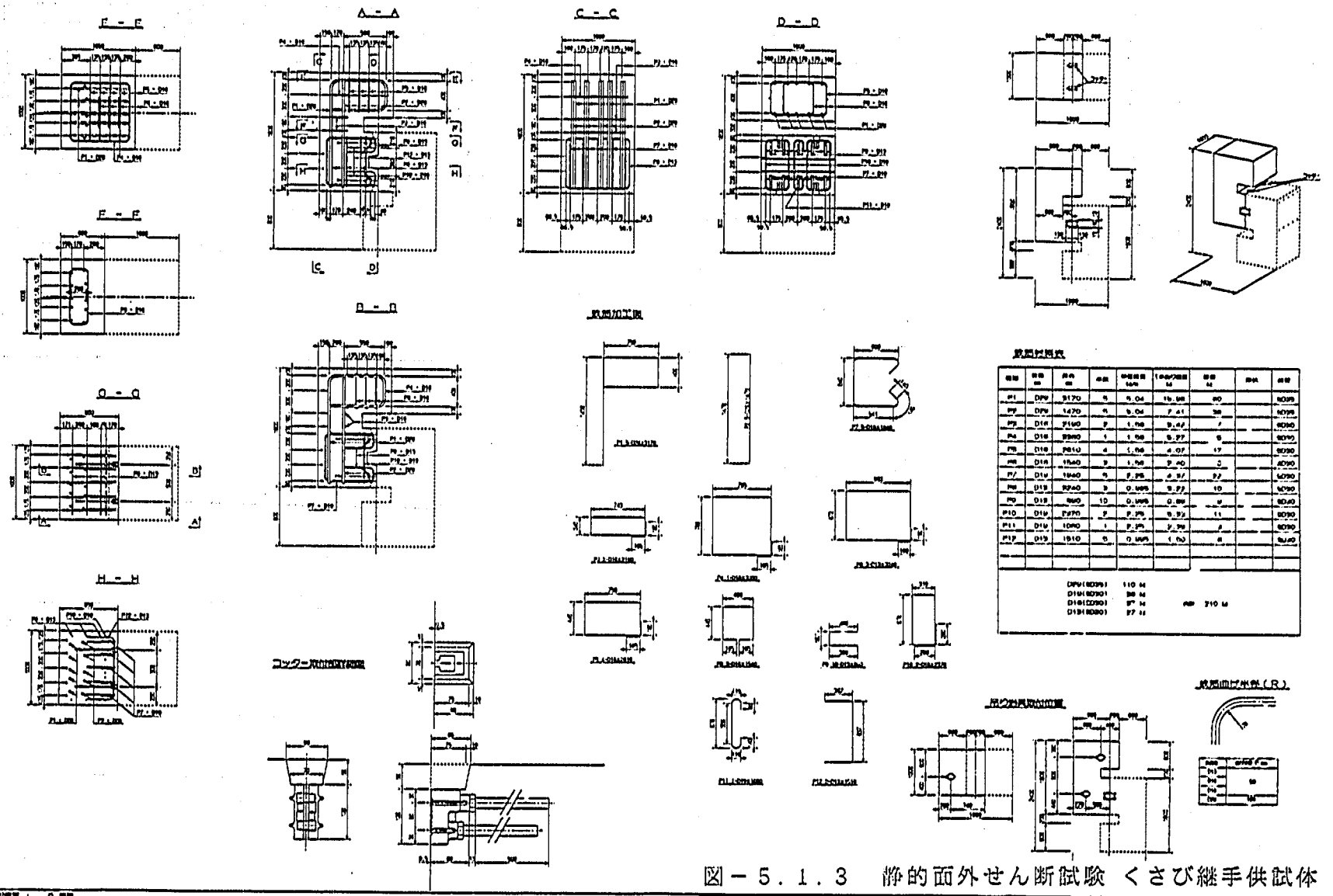
供試体を載荷台にセットする前に、コンクリート床面であらかじめ左右双方を接合させた。そのためまず、供試体左右を対面させた状態で横に寝かし、接着剤を接合面に塗布した。（接着剤を塗布しないタイプは省略）。次に、接合面が接する位置に横持ちし、くさび継手のＣ型金具の中にエポキシ樹脂系接着剤（ｱﾙﾌｧﾛﾝ-W103E)を注入し、Ｈ型金具を油圧式圧入機で１(tonf)毎に対角に移動しながら、圧入荷重３．５(tonf)まで繰返し挿入してくさび接合を完了し、角鋼管の挿入、角鋼管周辺モルタル(MCR7-ﾏ#510)を注入して全接合を完了した。

(2) 載荷方法

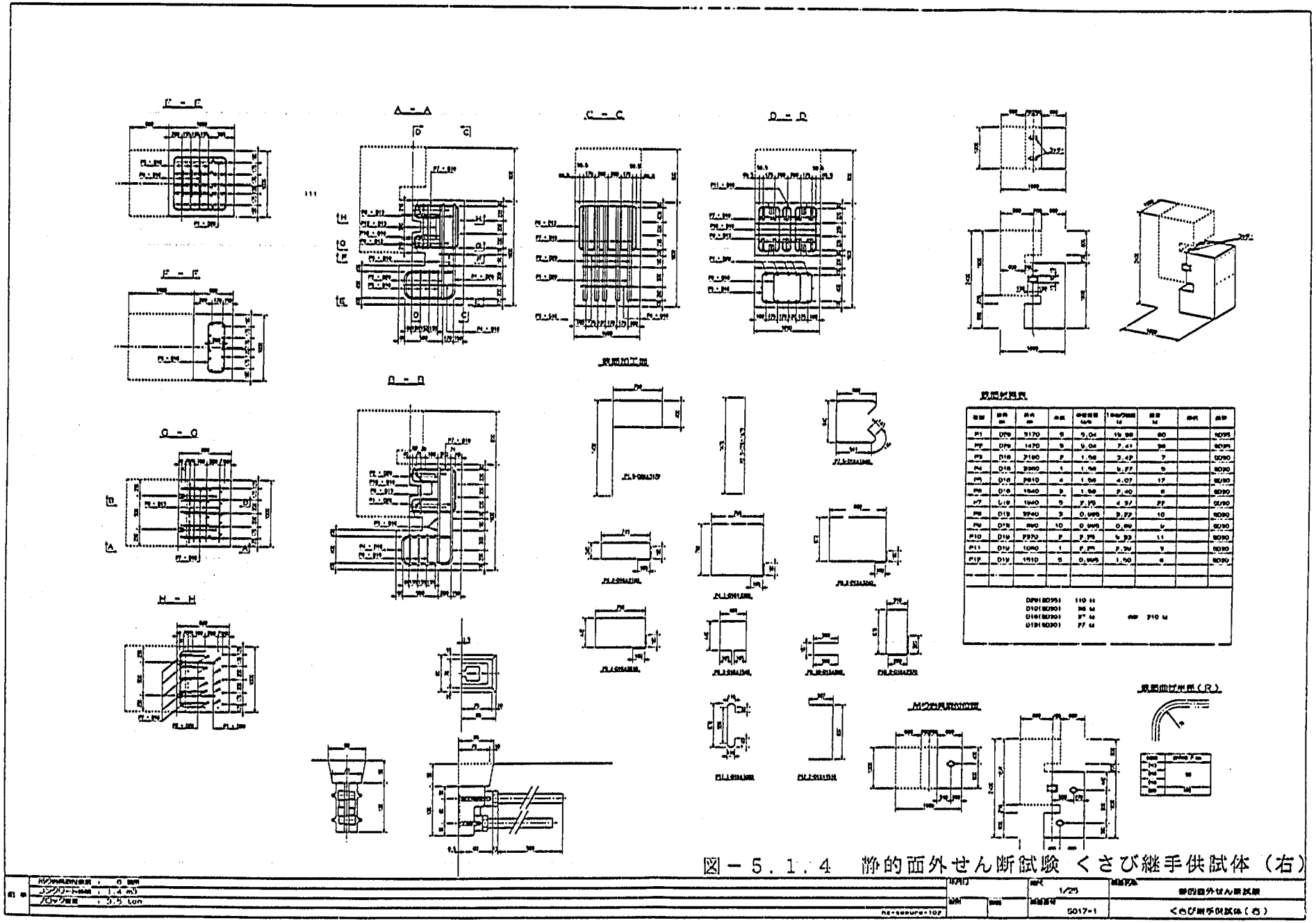
載荷は、図－５．１．５に示す載荷装置により「単純せん断載荷」にて行なった。また、載荷パターンは、２tfピッチ程度にて単調増加で載荷した。



図－５．１．５　面外せん断載荷装置



図－５．１．３　静的面外せん断試験　くさび継手供試体（左）



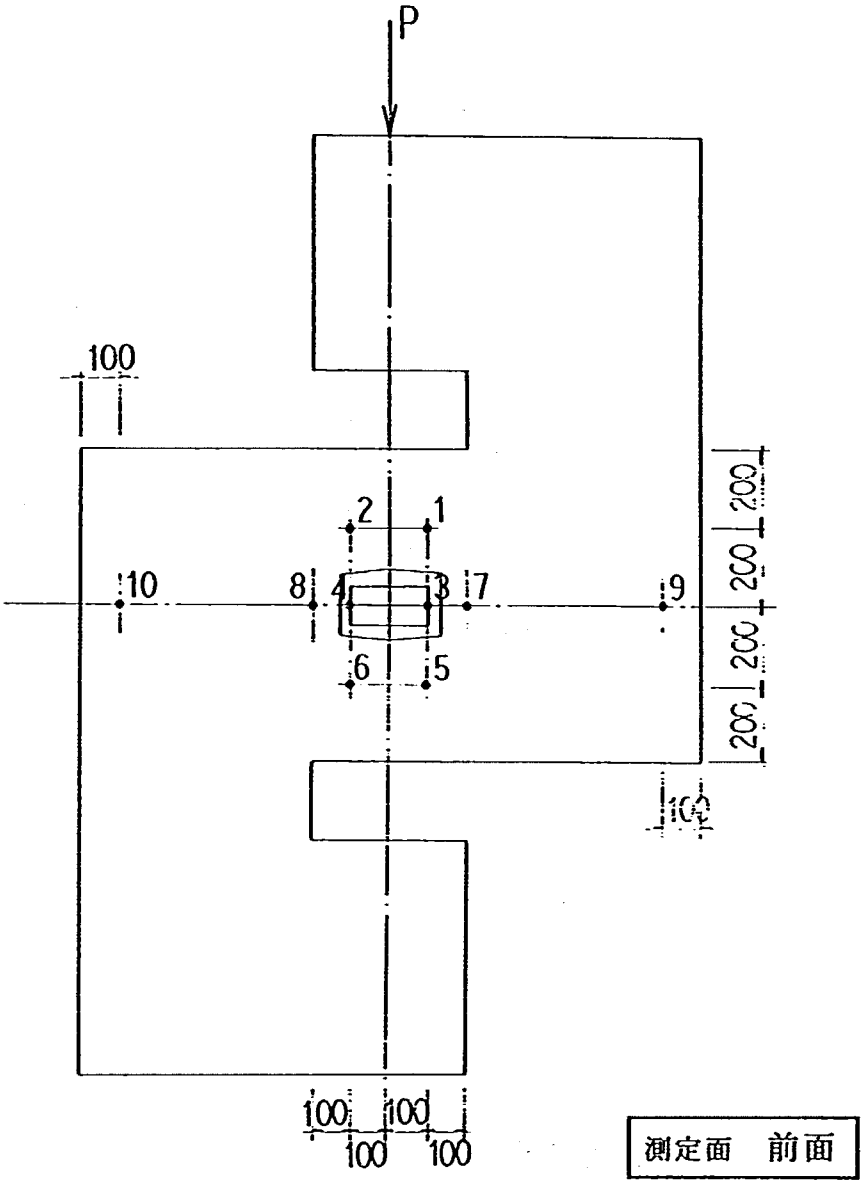
図－５．１．４　静的面外せん断試験　くさび継手供試体（右）

(3) 計測項目

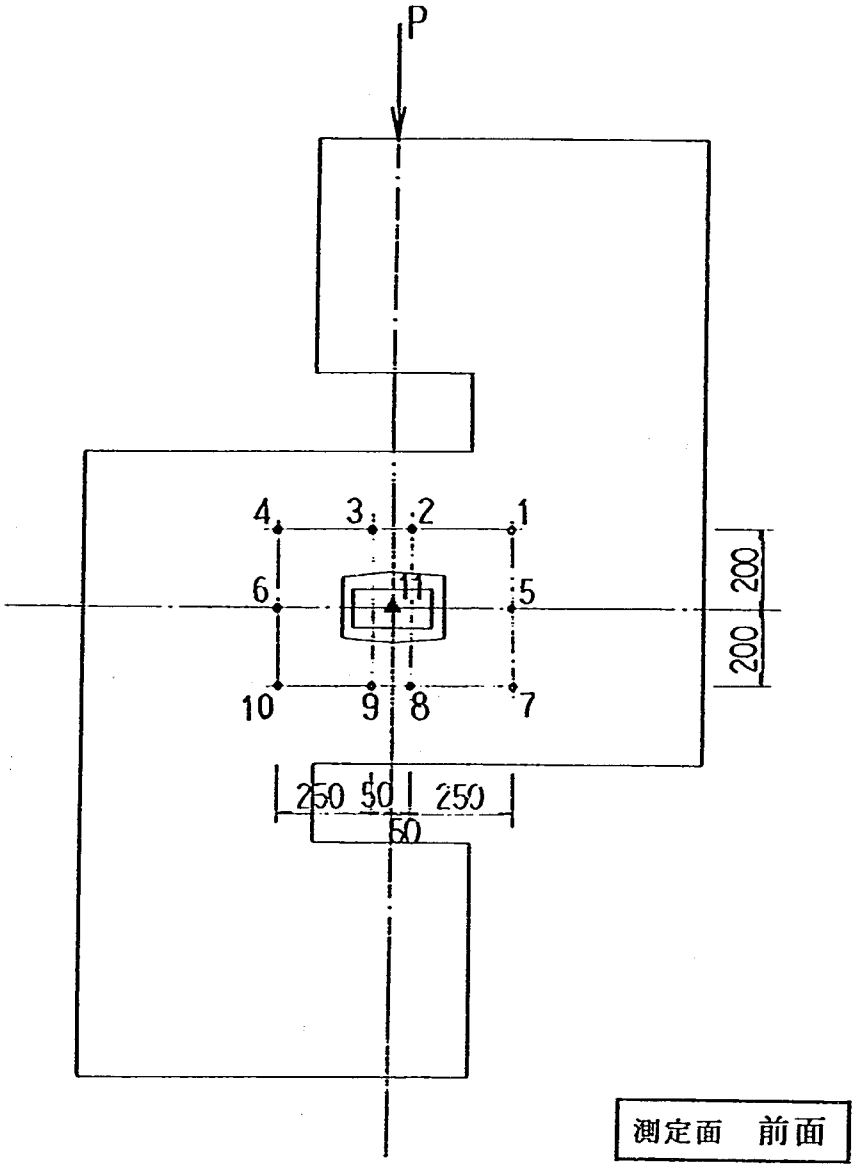
計測項目および計測方法は表－５．１．４の通りである。

表－５．１．４　計測項目および計測方法

計　測　項　目	計　　測　　方　　法	図番号
荷　　重	ロードセルによる	
変　　位	変位計による	図－5.1.6
コンクリート歪	歪ゲージによる（３軸および埋設）	図－5.1.7
主　鉄　筋　歪	歪ゲージによる（１軸）	図－5.1.8
補強鉄筋歪	歪ゲージによる（１軸）	図－5.1.9
角　鋼　管　歪	歪ゲージによる（１軸）	図－5.1.10
くさび継手歪	歪ゲージによる（１軸および３軸）	図－5.1.11
くさびアンカー筋歪	歪ゲージによる（１軸）	図－5.1.11
ひびわれ状況	目視、写真、ＶＴＲ観察による	
くさび継手変形状況	同　　上	
角鋼管変形状況	同　　上	
コンクリート強度／弾性係数	供試体製作時の３供試体による	



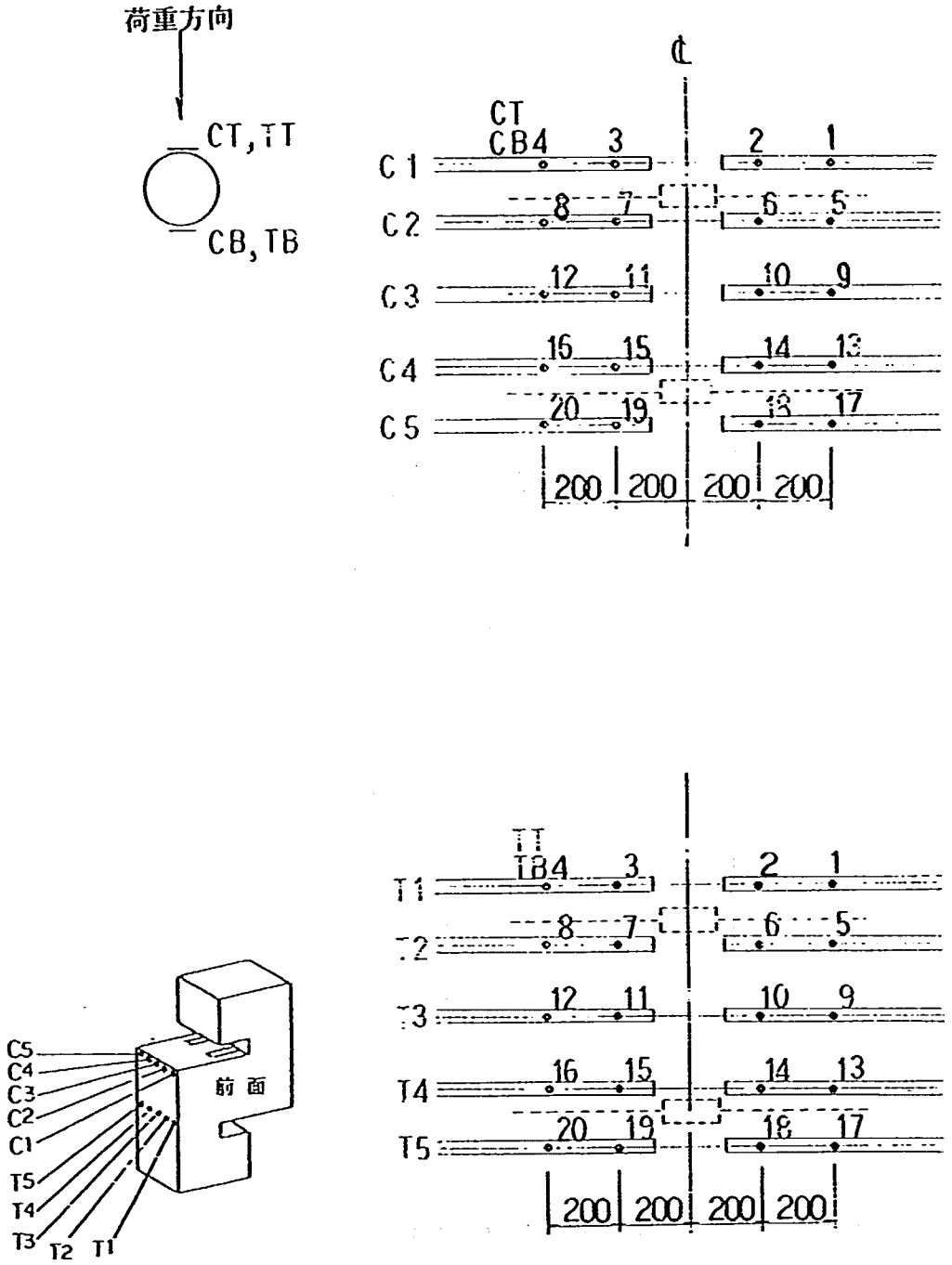
図－５．１．６　変位（鉛直）測定位置図



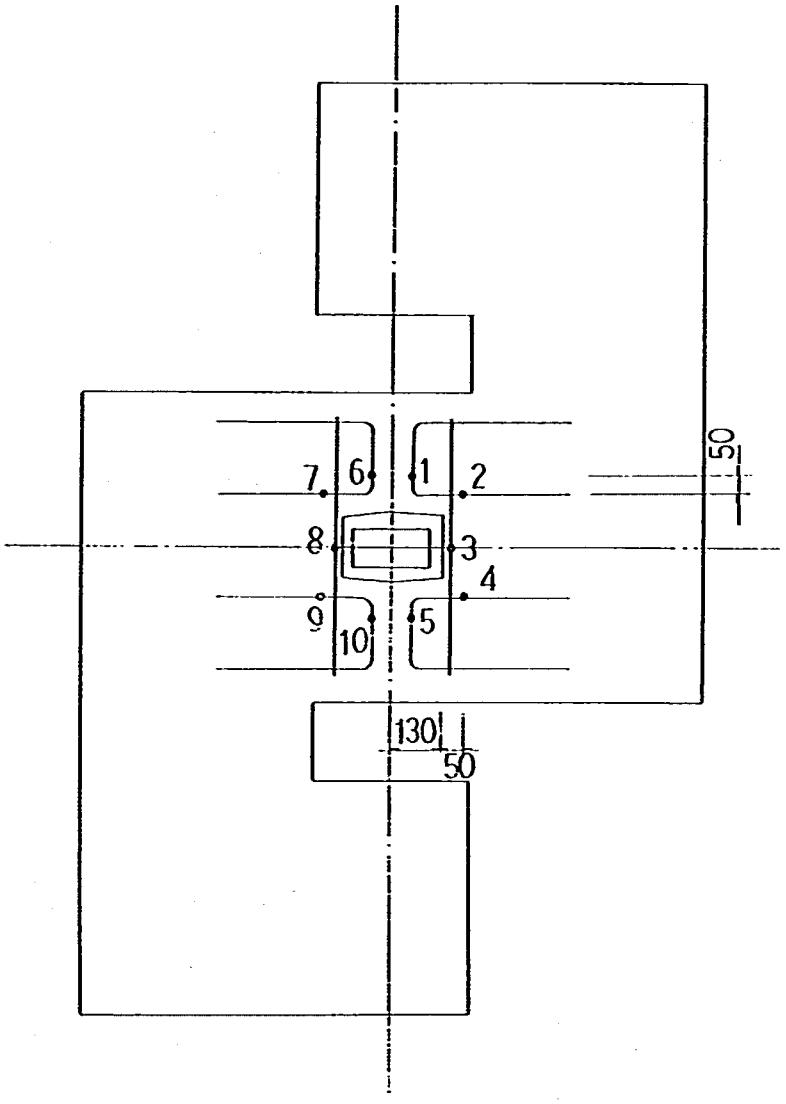
● 3軸ゲージ

▲ 埋込み型ゲージ

図－5．1．7　コンクリート歪み測定位置図

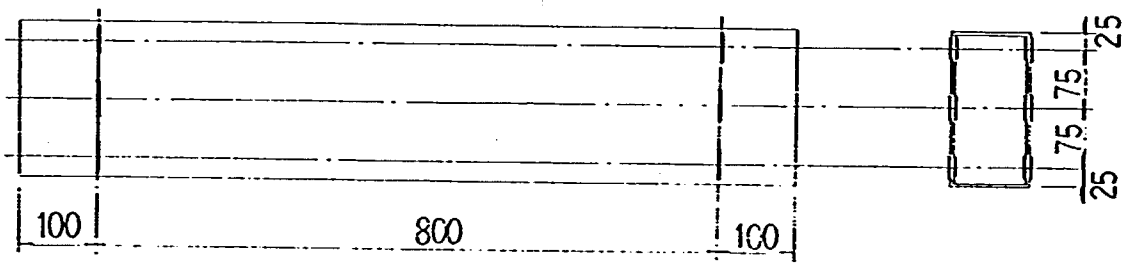


図－５．１．８　主鉄筋歪み測定位置図



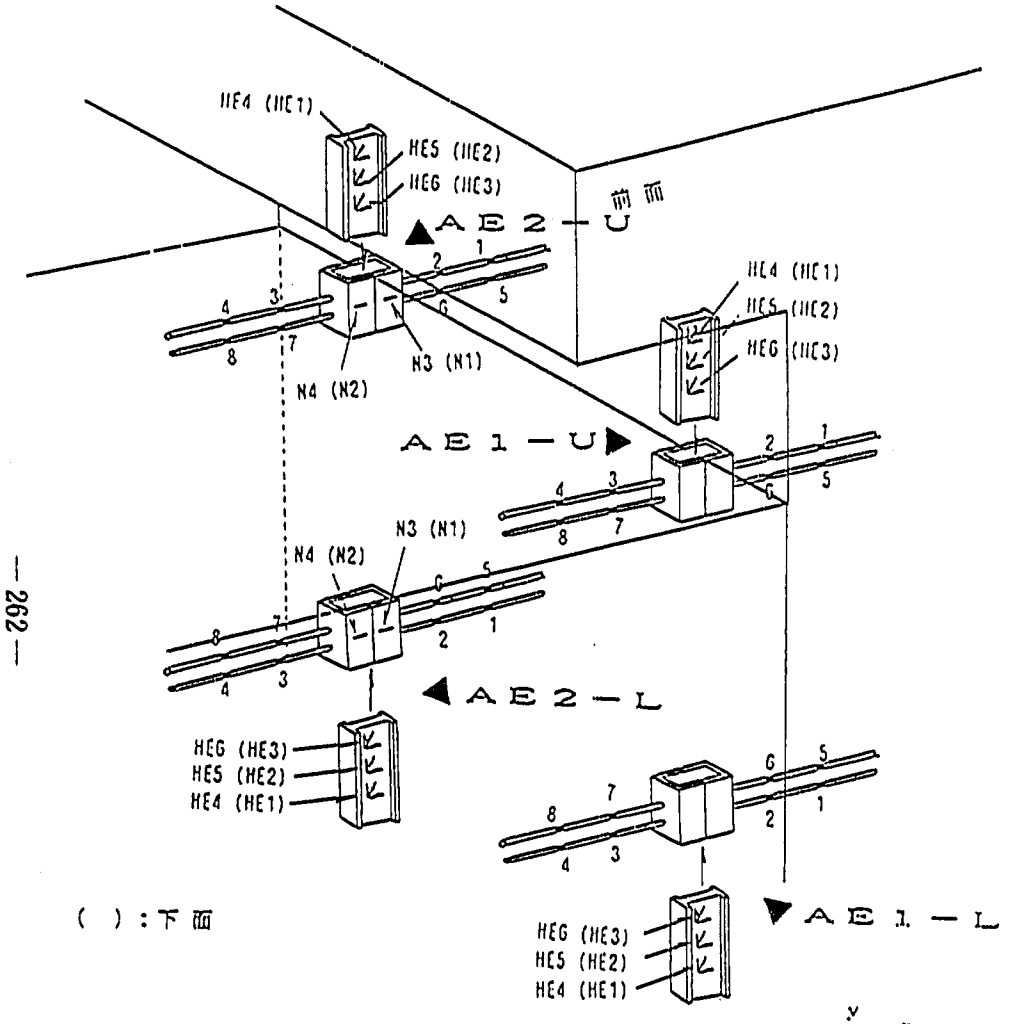
一軸ゲージを同一点に2枚（左右，上下）

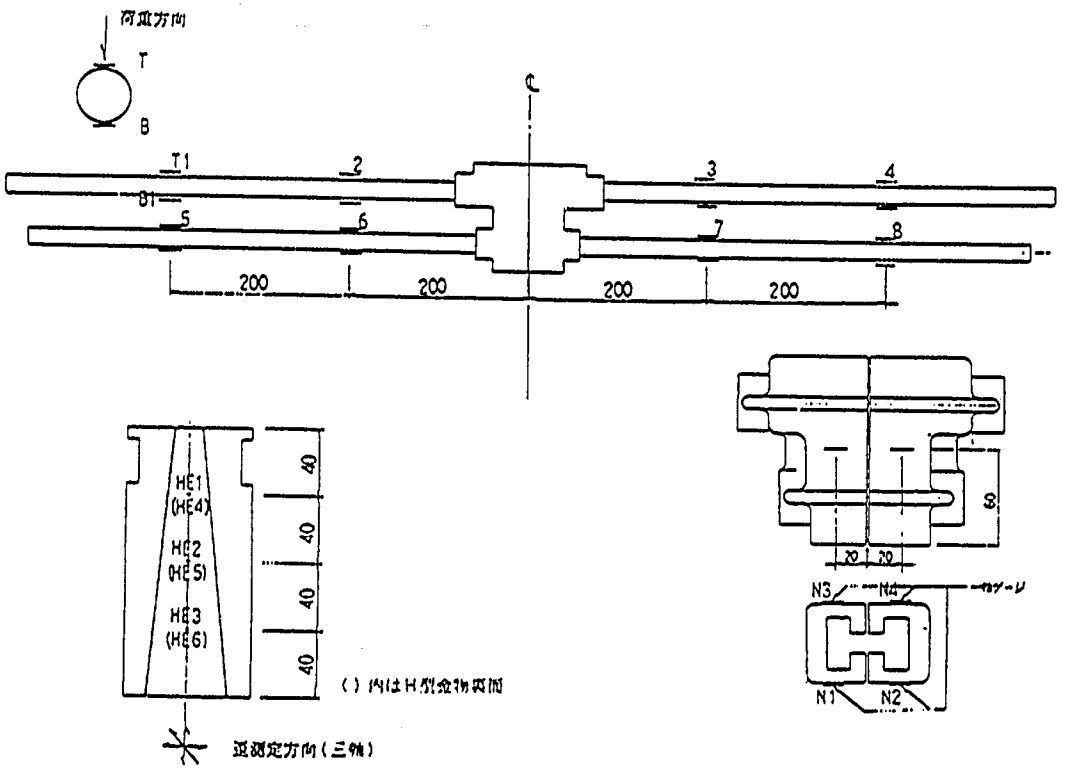
図－５．１．９　補強鉄筋歪み測定位置図



| 一軸ゲージ（２４枚）

図－５．１．１０　角鋼管歪み測定位置図





図－５．１．１１　くさび継手、アンカー筋歪み測定位置図

5．2　実験結果および考察

5．2．1　試験結果

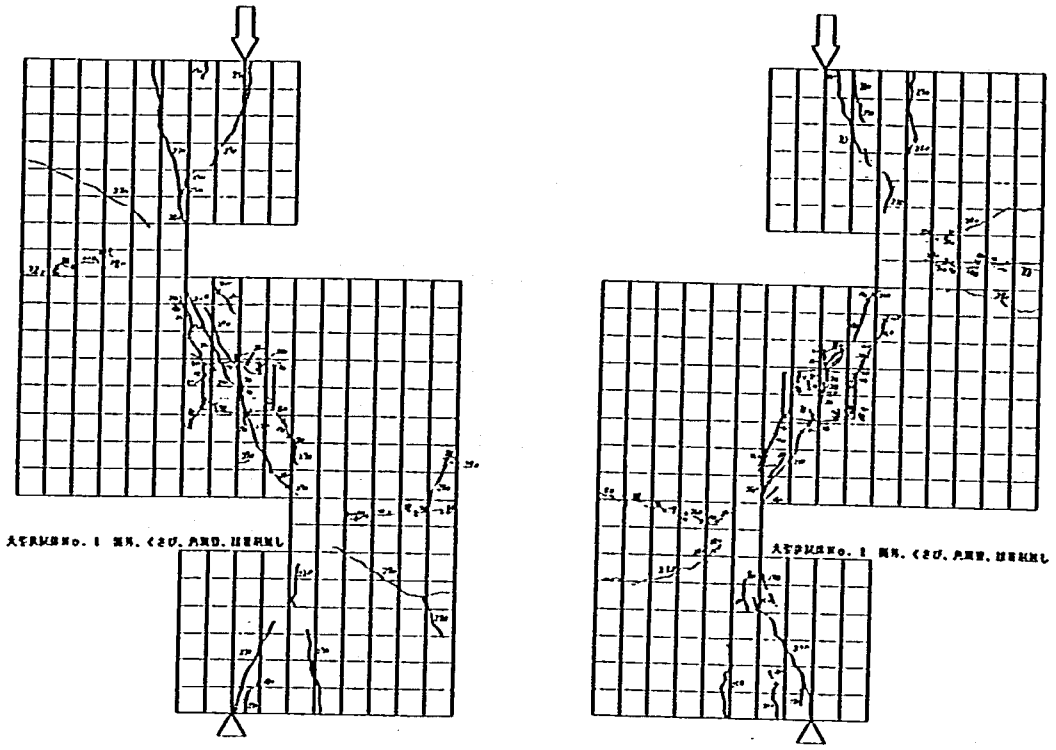
試験の結果を一覧表にして、表－5．2．1に示した。

表－5．2．1　面外せん断試験結果一覧表

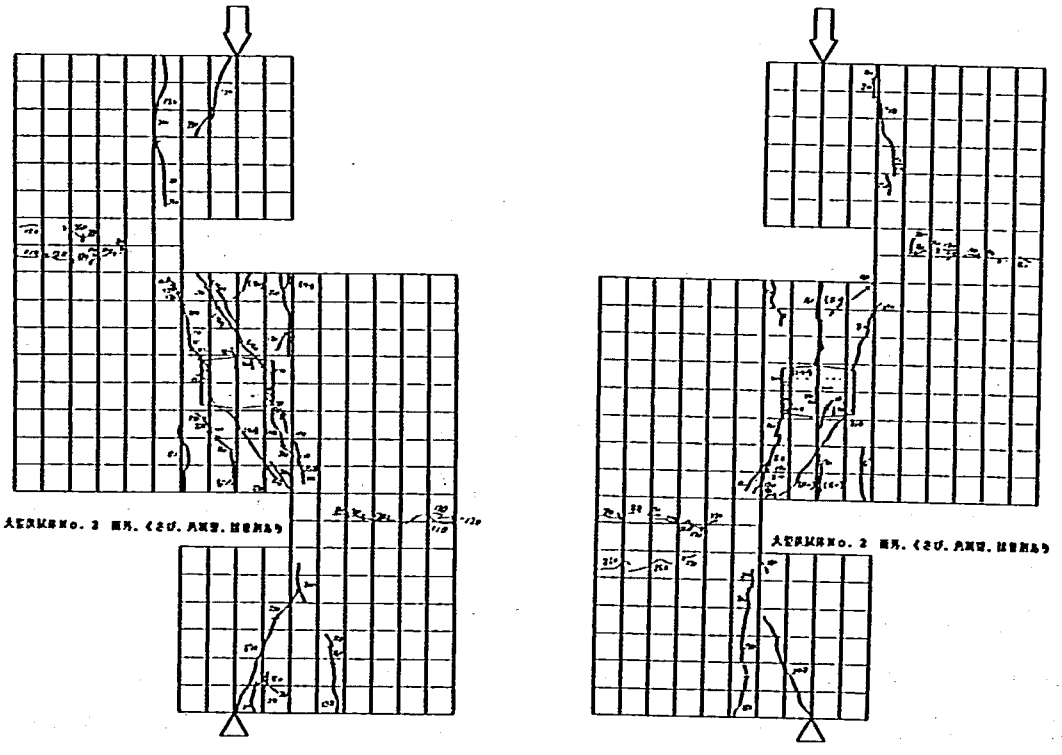
継手種類	角鋼管ﾀｲﾌﾟ継手 (Case 接着無)	角鋼管ﾀｲﾌﾟ継手 (Case 接着有)	備考
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ圧縮強度 $: f_c$ (kgf/cm²)	567 (L564, R570)	590 (L560, R620)	両継手供試体については左右ﾌﾞﾛｯｸの平均強
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ引張強度 $: f_t$ (kgf/cm²)	34.3	35.2	$f_t = 0.5(f_c)^{2/3}$ ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ割線弾性係数 :Ec (kgf/cm²)	3.58×10^5	3.54×10^5	両継手供試体については左右ﾌﾞﾛｯｸの平均
本体ｺﾝｸﾘｰﾄ剪断弾性係数 :Gc (kgf/cm²)	1.53×10^5	1.52×10^5	$Gc = Ec / 2(1+\nu)$ 弾性論式
無収縮ﾓﾙﾀﾙ強度 $: f_c$ (kgf/cm²)	477	511	角鋼管部、充填ﾓﾙﾀﾙ (MCR ｱｰﾏ #510)
最大荷重 :P (tf)	290.5 (299.2)	341.0 (344.9)	( )内は実験時ﾓﾆﾀｰで確認したピーク値
最大荷重時の中央点相対変位 :δ (mm)	4.36 (7.32)	3.29 (4.32)	( )内は実験時ﾓﾆﾀｰで確認した相対変位値
継手部せん断バネ定数 : Ks (tf/cm)	1.4×10^3	10.1×10^3	許容せん断力(=39.6t)時のせん断変形値より逆算したバネ定数
最終破壊モード	くさび継手の引張破断（C型）	くさび継手の引張破断（C型）	

また、ひびわれ進展図を図－5．2．1および図－5．2．2に示した。接着材の有無にかかわらずクラック進展傾向は両者とも類似しているが、角鋼管内部の無収縮モルタル部での初クラックは、接着材無しのケースが120(tf)，接着材有りが270(tf)であった。こうした接着材の効果は、ブロック間の相対変位や各種構成部材（くさび金具，アンカー筋、鉄筋他）の歪傾向にも現れている。

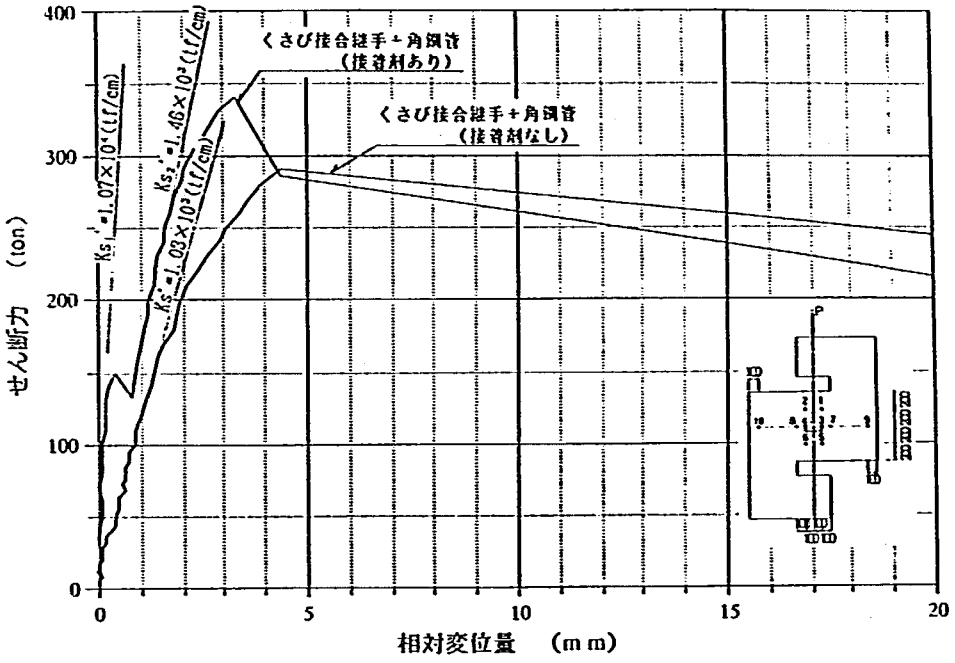
せん断力～相対変位を図－5．2．3に示した。なお相対変位は、両ブロックの回転変位を補正して用い、せん断方向の変位に換算してある。



図－５．２．１　コンクリートひび割れ展開図（接着剤なし）



図－５．２．２　コンクリートひび割れ展開図（接着剤あり）



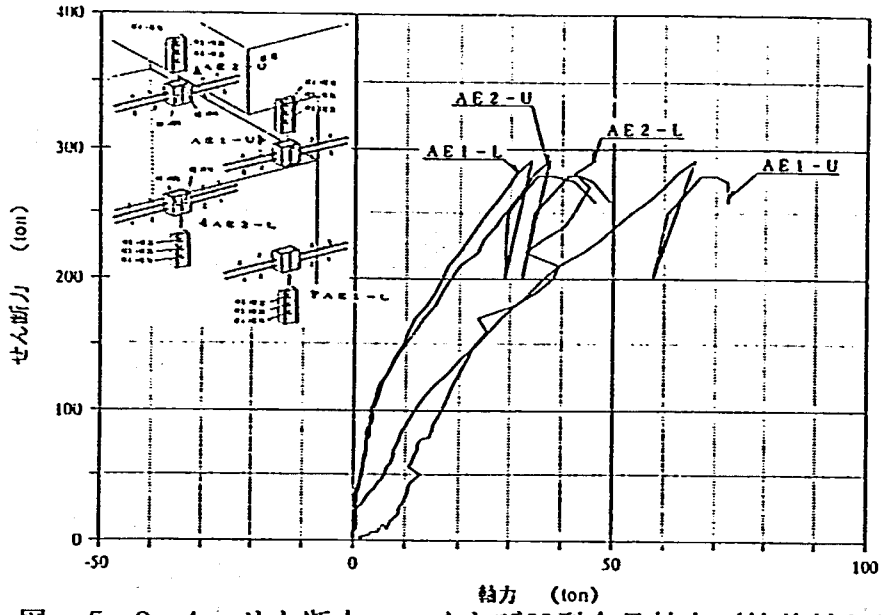
図－５．２．３　せん断力 ～ 相対変位図

接着材なしの供試体変位は、5(tf) 付近よりほぼ線型的に変位の伸びを確認でき、200(tf) を過ぎるあたりからやや剛性が落ちたものの、最大荷重 P=299(tf)を得た。破壊モードはくさびH型金具のウェブ破断であったが、せん断に抵抗する角鋼管キーの破断時変形は、明確なせん断変形形状を示していた。

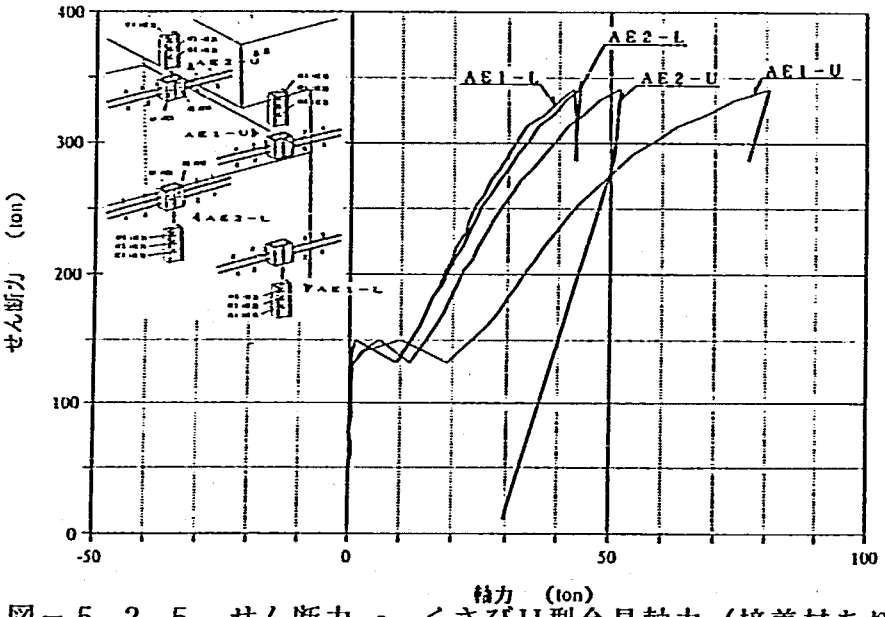
一方、接着剤ありの供試体変位は、接着材なしに比較して特徴的な変形特性を示した。P=150(tf) 付近での荷重低下は、せん断面付近のせん断クラック発生が原因であるが、この付近まで接着材による付着が有効であったことは、変位傾向ばかりでなく、H型金具軸力やくさびアンカー筋のひずみに顕著に表れていることからも裏付けられる。破壊時の最大荷重は、 P=344(tf)で、破壊モードは接着剤なし供試体と同様、くさびH型金具のウェブ破断であった。なお、角鋼管キーの破断時変形は比較的原型の矩形形状を保っていた。

せん断力による変形の割合をせん断剛性(Ks') と定義すれば、接着材なし供試体で Ks'= 1.03×10³(tf/cm)、接着材ありで初期 Ks_1'= 1.03 ×10⁴(tf/cm)、中期以降 Ks_2'= 1.46 ×10³(tf/cm)で、前年実施した無補強くさび接合継手の Ks'= 1.8 ×10² (tf/cm) に比して、格段の剛性向上結果を得た。この値は、初期すべりなどの馴染みの影響を排除した、一定傾き区間の値である。

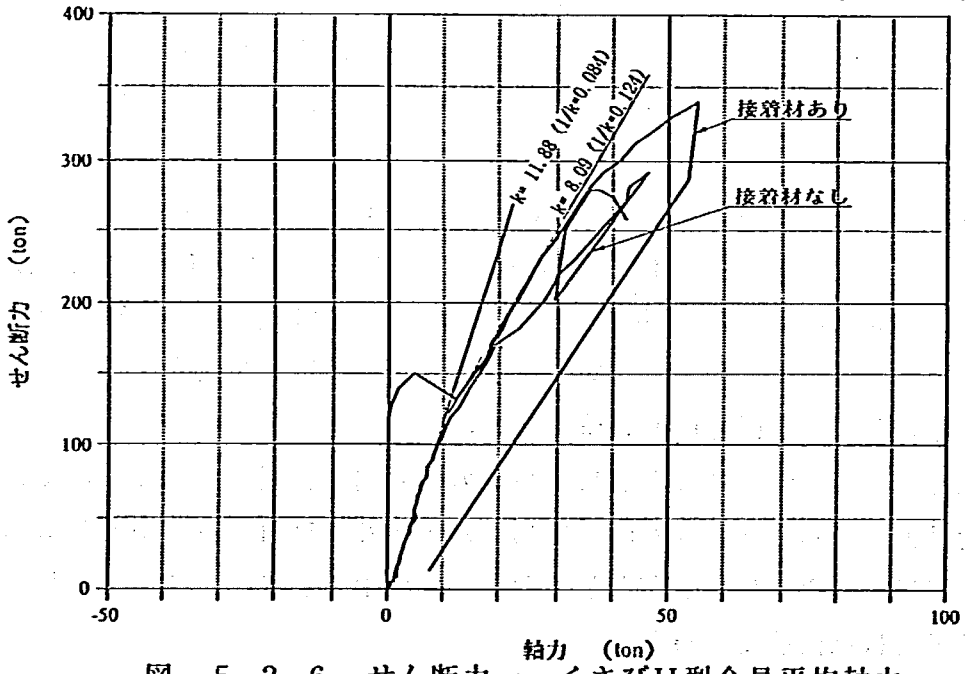
図－５．２．４～５．２．５にくさびH型金具の軸力図を、図－５．２．６にくさびH型金具の平均軸力図を示した。せん断力増加に対するくさびH型金具軸力の増加割合(= HS/S)は、図示したように接着剤なしのケースで継手１ヶ当たり８％を示し、小型供試体実験結果とほぼ同値であった。



図－５．２．４　せん断力 ～ くさびH型金具軸力（接着材なし）



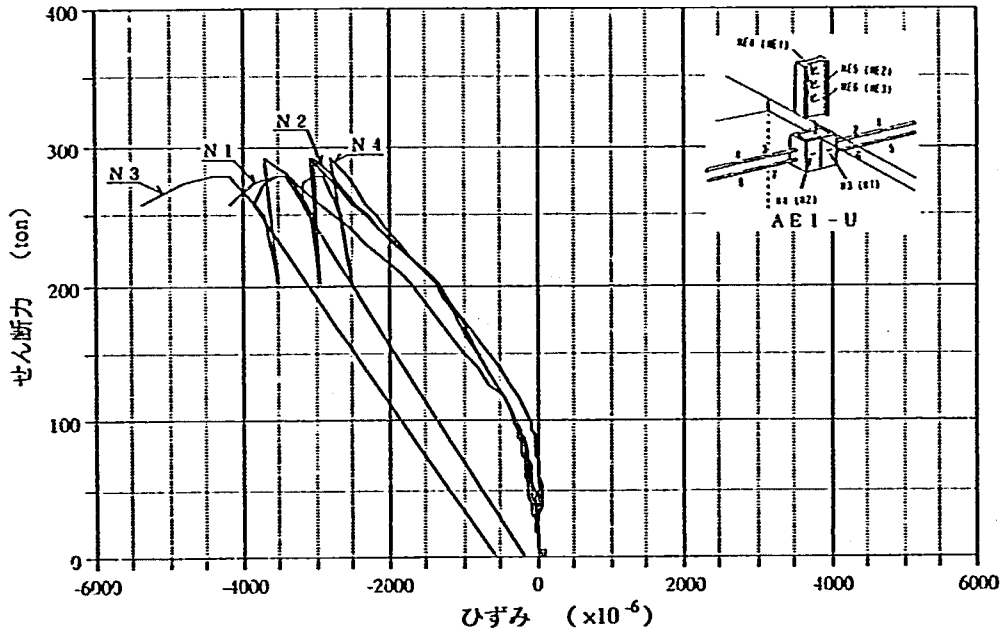
図－５．２．５　せん断力 ～ くさびH型金具軸力（接着材あり）



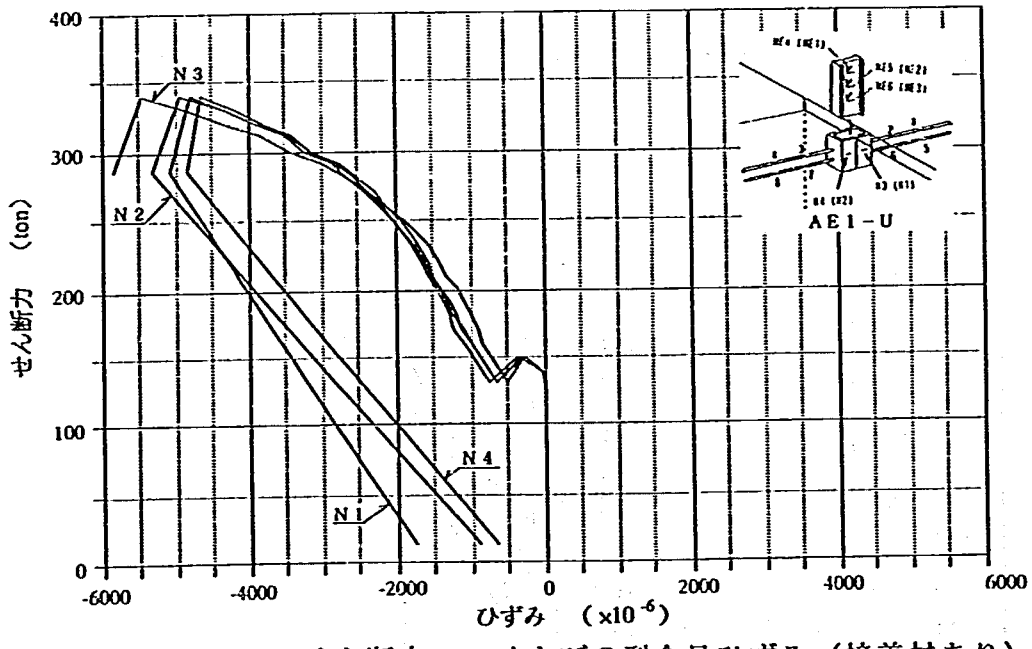
図－５．２．６　せん断力 ～ くさびH型金具平均軸力

また、図－５．２．７および図－５．２．８にくさびＣ型金具のひずみ計測結果を示す。グラフは、両供試体とも前面上側のくさび継手(AE1U)のみを示した。

ひずみ進展は、Ｈ金具軸力の伸び傾向と一致しているが、軸力換算値はＣ型金具がＨ金具のほぼ２倍の値を示しており、Ｃ型金具の軸力伝達機構が複雑であることが伺える。



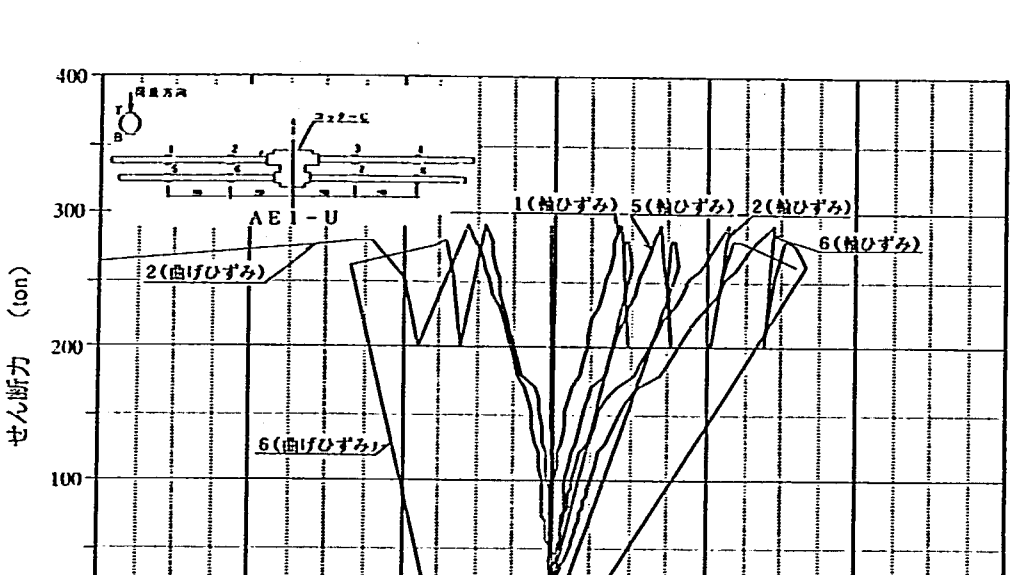
図－５．２．７　せん断力 ～ くさびＣ型金具ひずみ（接着材なし）



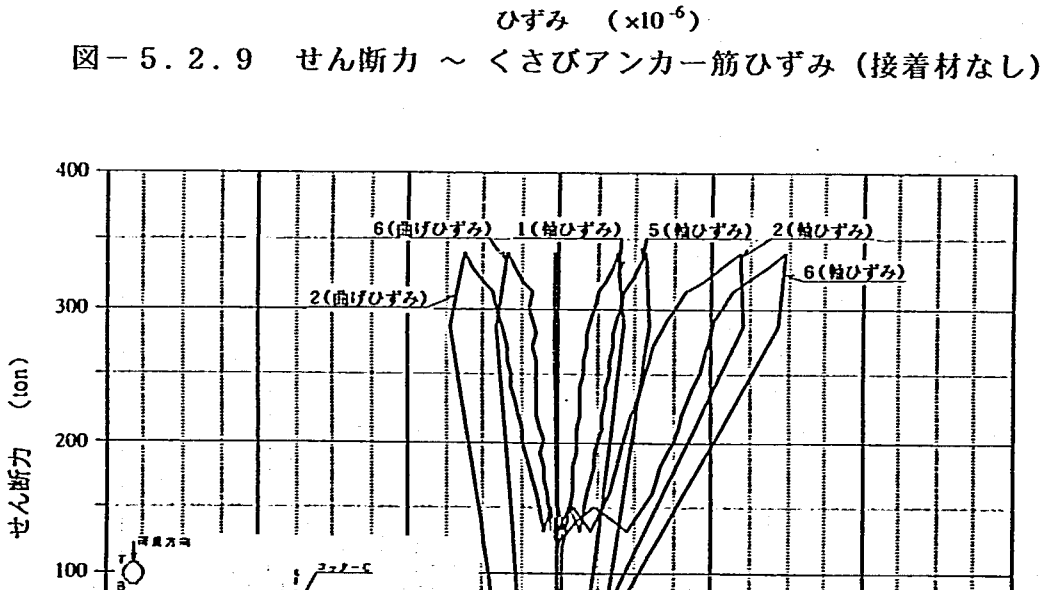
図－５．２．８　せん断力 ～ くさびＣ型金具ひずみ（接着材あり）

くさびアンカー筋のひずみ計測結果を、図－５．２．９～図－５．２．１０に示した。本グラフも、両供試体とも前面上のくさび継手(AE1U)のみを示した。

このくさびアンカー筋ひずみの進展も、H金具軸力の伸び傾向と一致しているが、C型金具の軸力がH金具軸力の２倍値を示す傾向にあったのに対し、くさびアンカー筋の軸力換算値は、H金具軸力の１／２倍値を示している。くさびアンカー筋のひずみゲージ取り付け位置が、せん断面センターより20cm離れた位置にあることより、付着によるコンクリート体への応力分散があったことの影響とも考えられるが、くさび金具およびアンカー筋のせん断力伝達の機構についてさらに検討を加える必要がある。



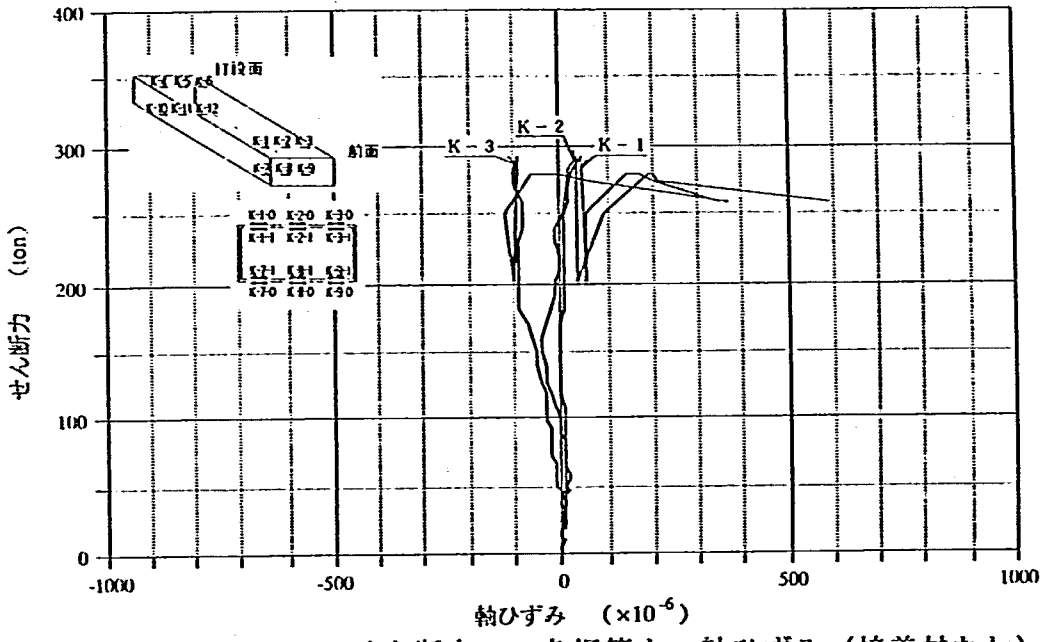
図－５．２．９　せん断力 ～ くさびアンカー筋ひずみ（接着材なし）



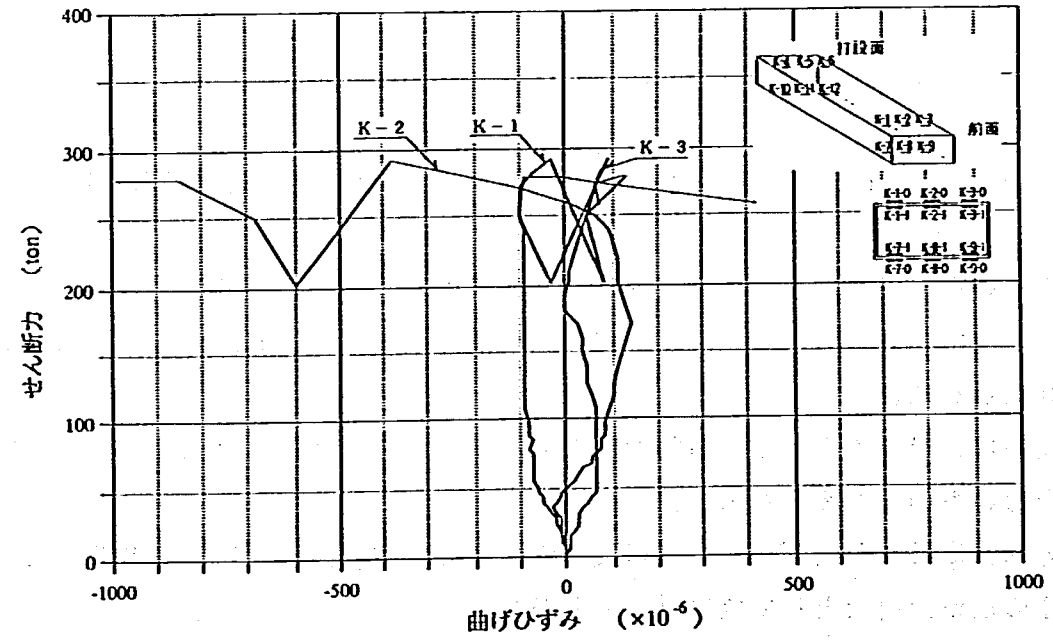
図－５．２．１０　せん断力 ～ くさびアンカー筋ひずみ（接着材あり）

また、せん断補強の主部材である角鋼管キーのひずみ図を、図－５．２．１１～図－５．２．１４に示した。接着材有無のケースそれぞれに、相対変位の伸びと同様の傾向を示しているものの、角鋼管キーのひずみが若干先行する傾向がみられる。特に、両ケースとも軸ひずみより曲げひずみが先行して進展しており、実験にて顕著なせん断変形を起こした接着材なしケースの中心曲げひずみが、最終段階で降伏値を越していることが記録された。

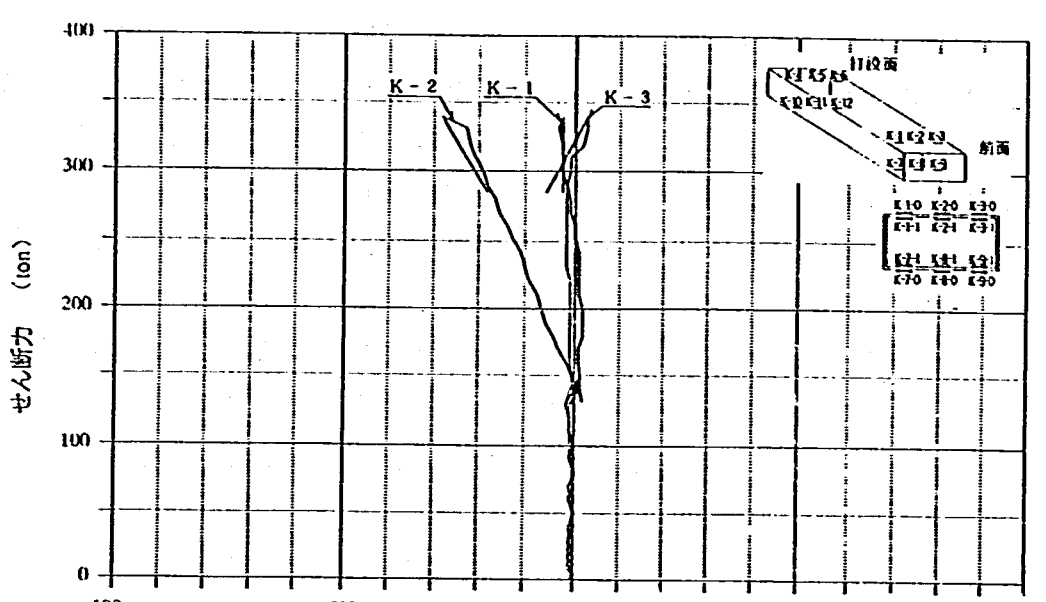
この角鋼管キーのせん断抵抗機構については、背面にアンカー筋などの定着体が存在しないことより、破壊点近傍においても引張抵抗体としては機能しておらず、後詰めモルタルと角鋼管との複合構造による純粋なせん断抵抗体として機能しているのではないかと考えられる。



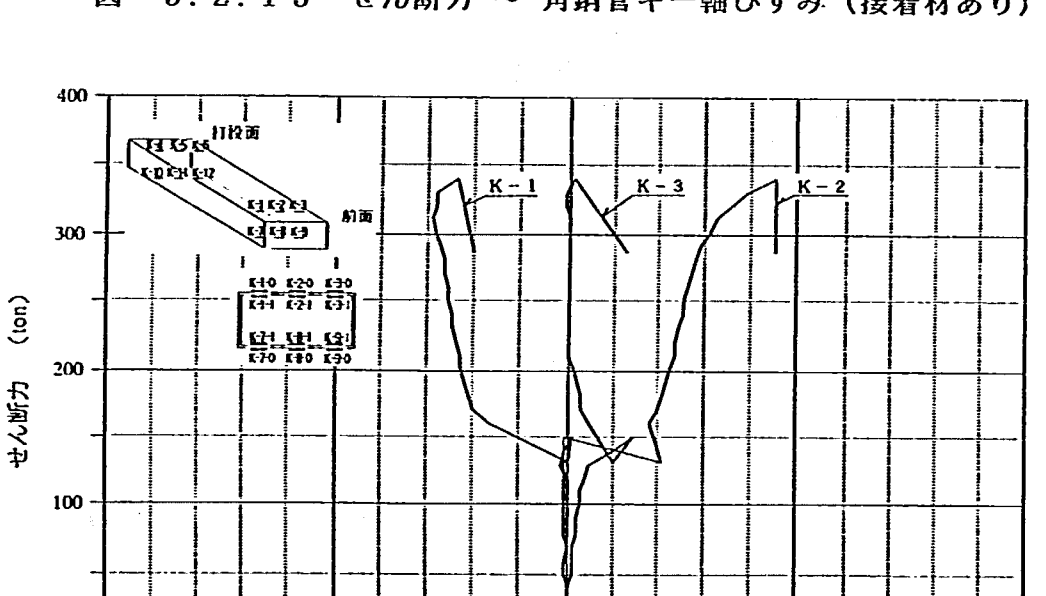
図－５．２．１１　せん断力 ～ 角鋼管キー軸ひずみ（接着材なし）



図－５．２．１２　せん断力 ～ 角鋼管き一曲げひずみ（接着材なし）



図－５．２．１３　せん断力 ～ 角鋼管キー軸ひずみ（接着材あり）

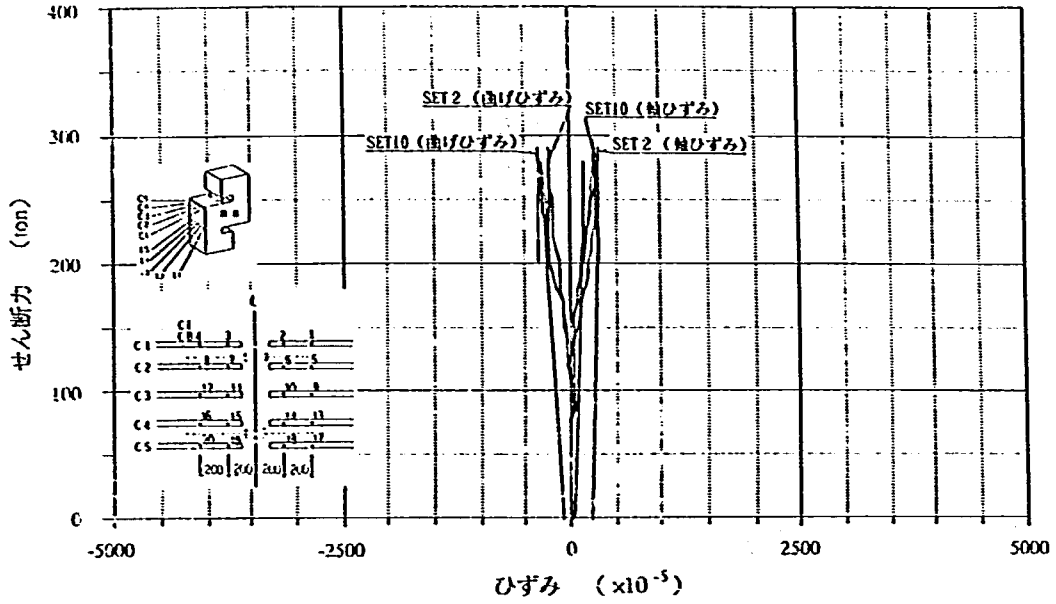


図－５．２．１４　せん断力 ～ 角鋼管キー曲げひずみ（接着材あり）

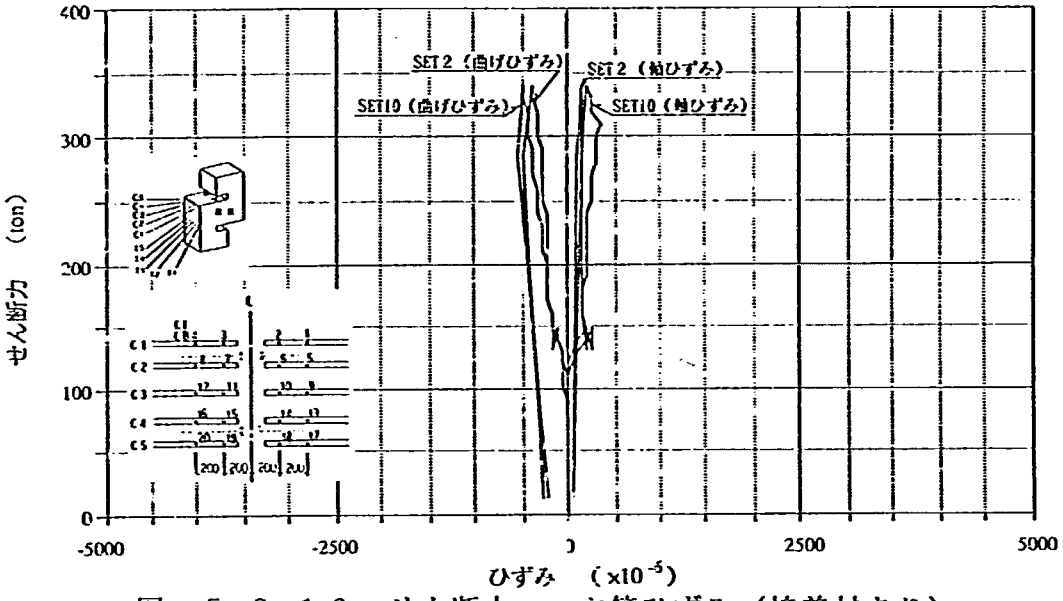
その他のひずみ計測として、主鉄筋および補強筋ひずみがある。主鉄筋ひずみを図－５．２．１５～図－５．２．１６に、補強筋ひずみを図－５．２．１７～図－５．２．１８に示した。

主鉄筋は、ひずみ進展や構造的考察からも明らかにように、せん断抵抗に対する寄与は少ないものと考えられる。

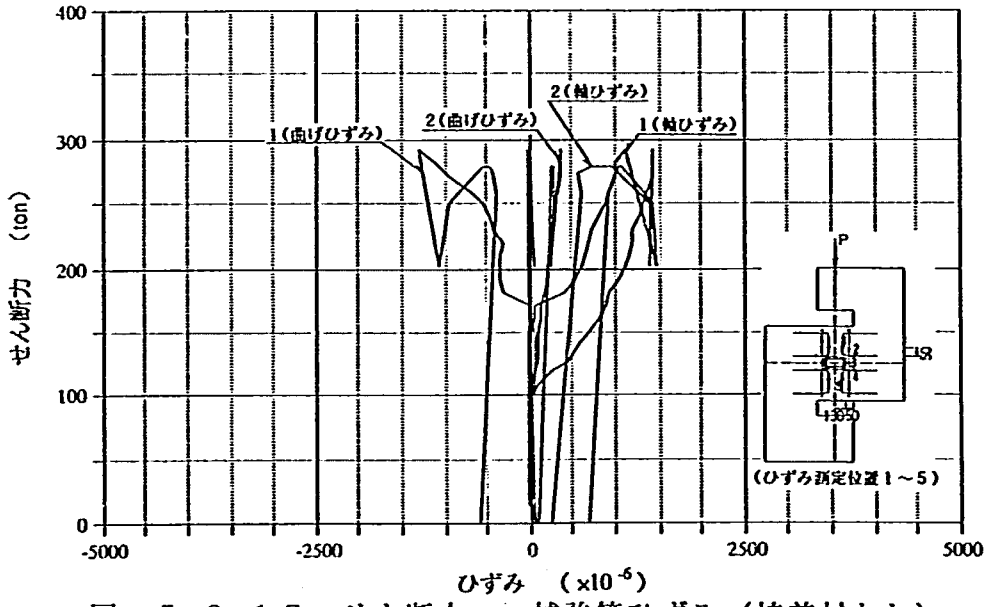
一方補強筋は、角鋼管キーの固定反力としてのひずみ進展が観測されることより、構造体の重要な要素として位置付けられる。



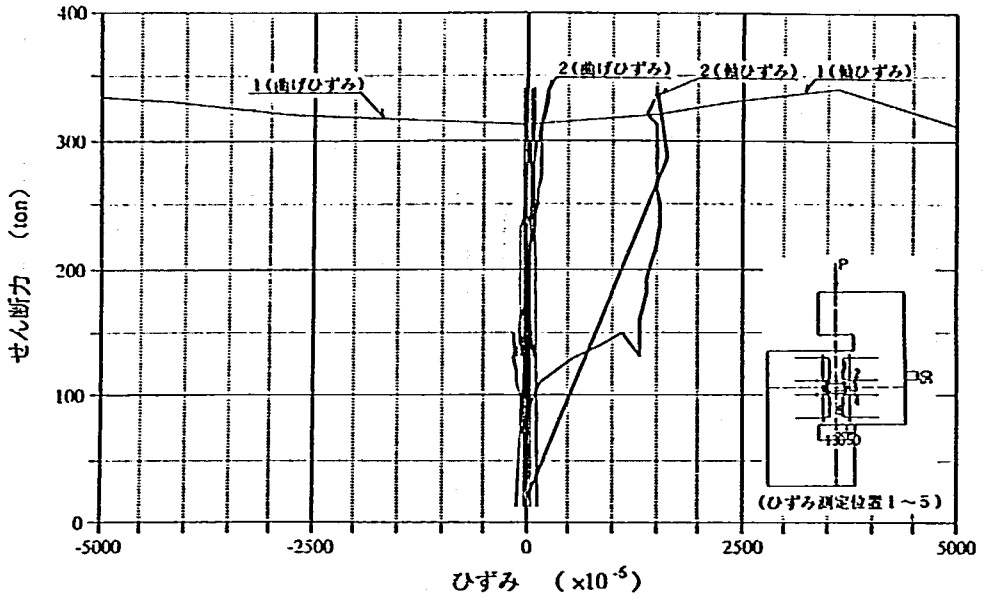
図－５．２．１５　せん断力 ～ 主筋ひずみ（接着材なし）



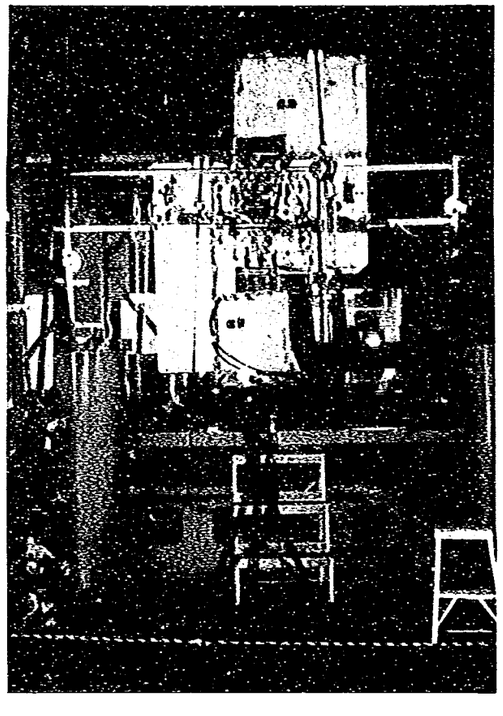
図－５．２．１６　せん断力 ～ 主筋ひずみ（接着材あり）



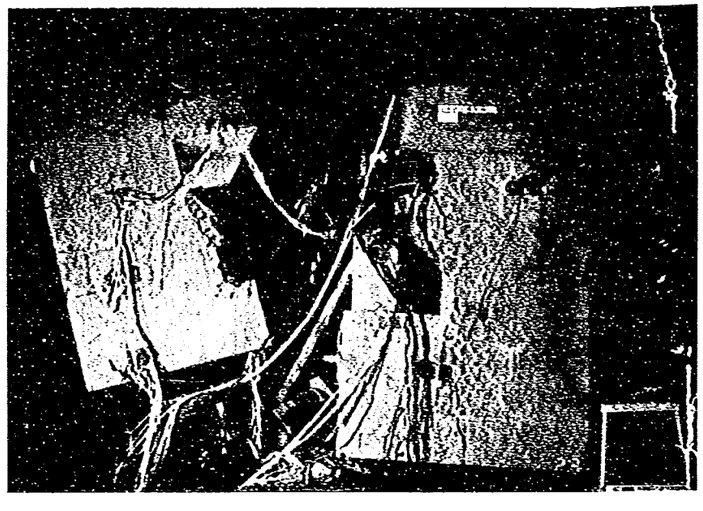
図－５．２．１７　せん断力 ～ 補強筋ひずみ（接着材なし）



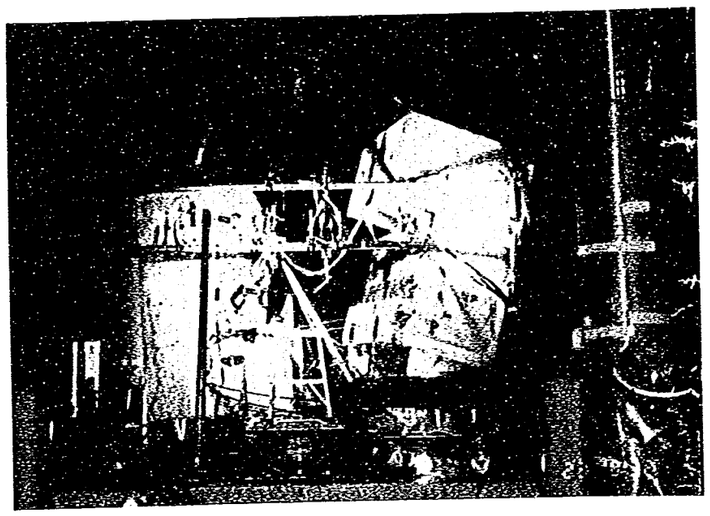
図－５．２．１８　せん断力 ～ 補強筋ひずみ（接着材あり）



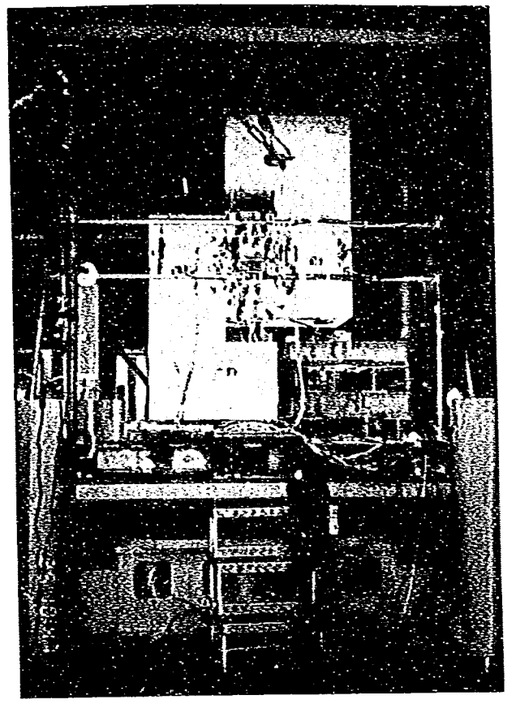
写真－５．２．１　「接着剤なし」供試体設置状況



写真－５．２．２　「接着剤なし」供試体破壊状況



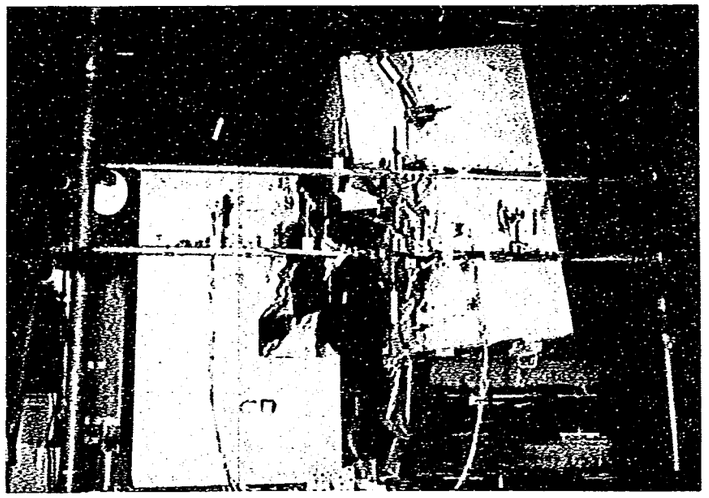
写真－５．２．３　「接着剤なし」供試体破壊状況



写真－５．２．４　「接着剤あり」供試体設置状況



写真－５．２．５　「接着剤あり」供試体破壊状況



写真－５．２．６　「接着剤有り」供試体破壊状況

5．2．2　評価

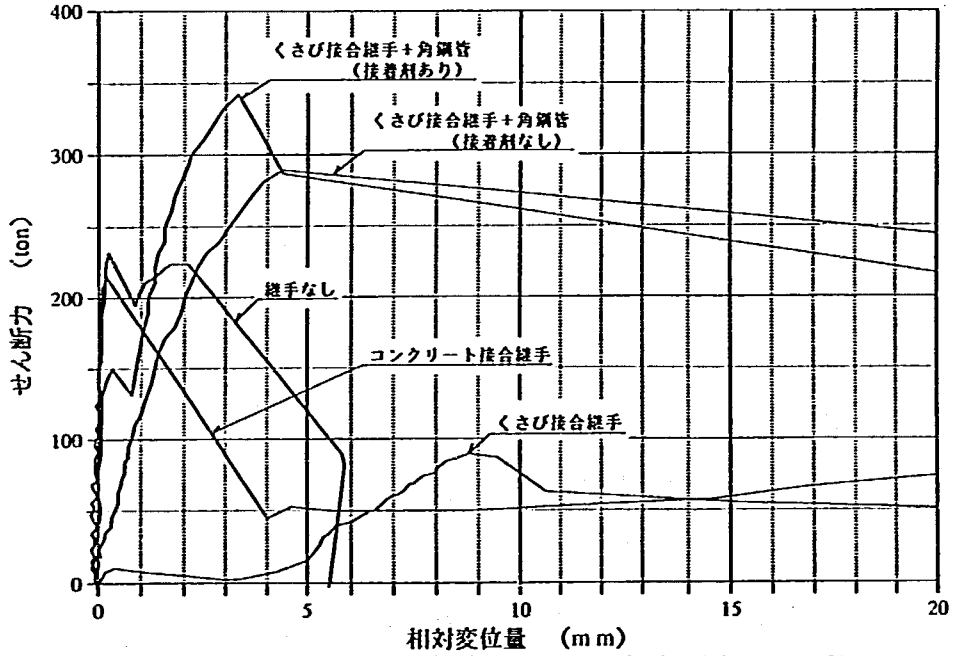
表－5．2．2に過去に実施した面外せん断試験結果の総括一覧表を示した。

表－5．2．2　面外せん断試験結果一覧表

継手種類	継手なし (Case NS-2)	くさび接合継手 (Case CS-5)	コンクリート接合継手 (Case CS-3)	角鋼管タイプ継手 (Case 接着無)	角鋼管タイプ継手 (Case 接着有)	備考
本体コンクリート圧縮強度 f_c (kgf/cm²)	764	798 (L871, R724)	778 (L732, R823)	567 (L561, R570)	590 (L560, R620)	両継手供試体については左右ブロックの平均強度
本体コンクリート引張強度 f_t (kgf/cm²)	41．8	43．0	42．3	34．3	35．2	$f_t = 0.5(f_c)^{2/3}$ コンクリート標準示方書
本体コンクリート割線弾性係数 Ec (kgf/cm²)	3.96×10^5	3.75×10^5	3.79×10^5	3.58×10^5	3.54×10^5	両継手供試体については左右ブロックの平均
本体コンクリート剪断弾性係数 Gc (kgf/cm²)	1.70×10^5	1.61×10^5	1.62×10^5	1.53×10^5	1.52×10^5	Gc= Ec / 2(1+ν) 弾性論式
最大荷重 P (tf)	230 (239.2)	90．3 (102.1)	216 (218.4)	290．5 (293.2)	341．0 (344.9)	( )内は実験時モニターで確認したピーク値
最大荷重時の中央点相対変位 δ (cm)	0．23 (0.89)	8．84 (41.29)	0．17 (0.74)	4．36 (7.32)	3．29 (4.32)	( )内は実験時モニターで確認した相対変位値
継手部せん断バネ定数 Ks (tf/cm)	39.6×10^3	70	－ (変位負)	1.4×10^3	11.3×10^3	許容せん断力(=39.6t)時のせん断変形値より逆算したバネ定数
最終破壊モード	せん断筋の降伏	C型金物破断 ｽﾀｯﾄﾞ筋の破断	ｽﾀｰﾌﾟの破断	コッターの引張破断 (C型)	コッターの引張破断 (C型)	
	←平成3年度実験→			←平成4年度実験→		

また、図－5．2．19に面外せん断試験のせん断力～相対変位を全試験一括して示した。図からも明らかなように、角鋼管キーの効果は剛性・耐力結果に顕著に表れている。特に今回の接着材ありタイプ結果は、継手なしおよびコンクリート継手と同様のせん断剛性を保持し、且つ耐力的には継手なしの5割増しの値を得ている。

したがって、継手なし供試体との等価性評価においては、くさび接合継手＋角鋼管キー（接着剤あり）継手を継手なしと同等以上と結論できるものと考える。同継手の接着材なしタイプについては、各比較項目の項で考察するものとする。



図－5．2．19　せん断力 ～ 相対変位（全タイプ）

(1) 接着材効果について

接着材有無の違いによる変形挙動並びに耐力については、今回実施したくさび継手＋角鋼管キーの継手タイプ比較で考察する。せん断力～相対変位図では、接着材ありタイプが約１５０(1f)付近まで、非常に高いせん断剛性を維持している。この値を接着材の付着耐力とすれば、τ = 18 (kgf/cm²)となり、せん断剛性維持を目的とするならば、その効果に期待することが必要である。

接着材なしタイプの最終耐力が、接着材ありに比して１５％ほど劣っている直接の原因が、接着材の効果にあるかはまだ検討の余地があるものと考える。

(2) 角鋼管キーの効果について

平成３年度に実施したくさび継手と、平成４年度に実施した（くさび継手＋角鋼管キー継手、接着剤なし）の比較では、せん断剛性（継手部せん断バネ定数）では約２０倍、せん断耐力では約３倍の顕著な改善効果を確認できた。

両タイプとも最終破壊モードが、H型金具の引張によるC型金具の破断（曲げ、引張）で決定されており、くさび継手の耐力付近までのせん断抵抗を負担する主部材として十分な効果が確認された。せん断変形に対する抵抗機構については今後とも詳細な検討をつめる必要がある。

(3) せん断時の角鋼管キー乗上げによるくさび継手軸力評価について

せん断力作用時に発生するくさび継手軸力は、実験結果より概ね作用せん断力の３０％前後であった。この結果は、先立って実施した小型せん断試験結果とも一致しており、設計時に何らかの形で考慮する必要があるものと考えられる。

5．3　まとめ

本試験は、くさび継手に新たに「角鋼管キー」を挿入した複合継手としての大型面外せん断試験であり、平成３年度の実験にて耐力・剛性に課題の残った「くさび接合継手」の改善効果をみたものである。

(1) 本複合継手の継手なし(NS-2)タイプに対する面外せん断性能の等価性評価

せん断力を受けた場合の変形に対する抵抗性（継手部せん断バネ定数）については、くさび継手のみの場合を基準として、２０倍程度の改善をみることができたが、継手なしタイプに比べると、接着剤なしでまだ1/３０程度である。しかし、実際には接着剤とともに使用することを考慮すれば、許容せん断力付近で1/３を確保しており、せん断変形に対する評価の現状を勘案すれば、ほぼ等価であるとの判断が可能であると思われる。

またせん断耐力については、接着剤有り・無しとも継手なしタイプを大きく凌駕しており、等価性については、格段の改良が確認された。

(2) 角鋼管キーの面外せん断に対する耐力・剛性の効果と抵抗機構

平成３年度に実施した「くさび接合継手」のみの結果に比較して、くさび継手の致命的欠陥であった初期すべり現象が改善され、耐力・剛性の格段の改良が確認された。くさび継手が本来期待された引張抵抗機構との複合構造として、せん断抵抗に対する寄与は、非常に大きいものと認識される。ただ、最終破壊モードが依然として、くさび継手の破断にとどまり、角鋼管キーのせん断抵抗機構やどんなサイズの鋼管にすべきかの設計法に関しては、今後への課題として検討を行う必要がある，

また、角鋼管キーの乗上げに伴うくさび継手の発生軸力は、実験の結果ほぼ作用せん断力の３０％を示した。この値は、先立って実施された小型せん断試験値とも一致しており、設計照査時にせん断時の付加軸力として評価する必要があるものと考える，

(3) 供試体に塗布した接着剤の効果

接着剤の有り、無しのせん断試験結果比較では、初期段階の変位傾向に顕著な違いが認められ、各種構成部材のひずみ傾向にも明確に現れている。即ち、せん断応力換算でτ=18(kgf/cm^2)程度までは、接合面を一体と見なせる挙動を示しており、特に初期せん断剛性への寄与が大きいものと判断できる。

平成３年度より実施してきた一連の継手評価試験を終了したが、今後は残された課題を検討し、設計マニュアルへ反映したいと考えている。

6．おわりに

平成３年度より２ヶ年にわたって実施してきた「継手構造実験」の概要を本書にまとめた。

継手に関する構造実験結果より選定された「コンクリート接合継手」「くさび継手＋角鋼管キー接合継手」の２種類の継手は、開発当初目標とした躯体部分との等価性確保も達成でき、平成５年度に実施した実証施工実験工事でも使用され、一応実物大での実績を積むことができた。

しかしながら、細部においては解明できなかった点も多く、プレキャスト躯体システムをより完成度の高いものにするため、今後も努力したいと考えている。

以　上

資料－Ⅱ

自動化オープンケーソン工法
プレキャスト躯体システム

構築方法確立のための追加試験報告書

はじめに

平成２年度から平成６年度にかけ、建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」の一環として自動化オープンケーソン工法（ＳＯＣＳ）の開発が官民共同研究により進められてきた。

ＳＯＣＳは外径６～１０ｍのオープンケーソン工法に対して、施工の自動化、合理化および高度化がはかられた新しい工法で

１）プレキャスト躯体システム

２）自動掘削・揚土システム

３）自動沈下管理システム

により構成されている。

プレキャスト躯体システムで使用されるプレキャストブロックは、運搬上の理由から、シールドセグメントと同様に小割された部材を千鳥組配置に積上げ、鉛直方向はＰＣ鋼棒で緊張する構造である。そのため、部材の接合面には隙間があってはならず、プレキャストブロックの製作方法はマッチキャスト方式が理想的といえる。

しかしながらこの方式を用いた場合でも、現場で１段目のプレキャストブロックを設置する時、工場製作時と同様の平面形状と高さを再現されることが必須条件となる。１段目の設置精度が良くなければ、千鳥組配置される２段目以降の接合面には隙間や段差が発生するためである。

平成５年度に、前述の共同研究において実証施工実験を実施し、そこでは場所打ちコンクリート躯体とプレキャスト躯体との間に、基準リングと称する部材を介在させ、１段目を精度良く設置する工夫をはかった。ところが基準リングを用いた場合でも十分な設置精度を得ることは容易ではなく、プレキャスト躯体の構築方法を確立するためには幾つかの課題を解決しなければならないことが判明した。

これらの課題を解決するため、その後種々の追加試験を実施し、プレキャスト躯体を構築可能とするための成果を得るこたができたので、ここに一連の追加試験の概要をとりまとめた。

1．概　　要

平成５年度に実証施工実験が行われ、自動掘削・揚土、自動沈下管理システムの実証とともに、プレキャスト躯体の構築実験を行った。

プレキャスト躯体の構築については、部材設置の施工性，施工能率の把握とともに、場所打ち部との接合性の把握・確認を行うことができた。しかし、構築途中でリングの接合面に隙間が発生し、ＰＣ鋼棒緊張時にひび割れが生じ構築に問題を残す結果となった。この時の課題は基準リングの設置精度（製作時の再現）の信頼性を得ることと、接合面の仕上げ、埋め込み金具固定治具およびガイドキーの固定方法に起因すると思われる水平接合面（マッチキャスト面）の隙間の発生防止であった。

この課題解決のため様々な点を改善し、再び実証実験時と同寸法の部材を製作して組立試験を行った。しかし、厚さ２５cmの基準リングをライナープレートで高さ調整する構築方法では、千鳥組構築で必要とされる設置精度を得ることができず、組立が極めて困難であることが判明した。

そこで、構築方法を再検討した結果、二段基準リング方式を採用することとした。この方法は、基準リングの支承としてゴムを使用し、場所打ち部の不陸を調整するとともに、基準リングとしてプレキャストブロックを２段に重ねたものを採用し、これを緊張結合して一体化することにより製作時の水平接合面再現を図るものである。この方法の精度や施工性を確認するため、幾つかの状態を想定して組立試験を行った。この試験の結果は非常に良好で、多少のレベル誤差，設置誤差は吸収調整され、基準リングとしての機能を十分発揮し、千鳥組配置での構築が可能であることを実証できた。

しかし、基準二段リングの１段目と２段目の間に接着剤を塗布する時、２段目リングの重量が除荷されるため、ゴム支承の反発力の影響で浮きが生じ、その後の基準リングの構築において悪影響を及ぼすことが分かった。この浮きの防止対策として幾つかの案を検討し、最良案を決定するため要素試験を行い確認することとした。要素試験の結果、ゴムの浮き上がりの影響を取り除く手法の有効性が確認され、基準二段リングの施工手順を確立した。

本報告書は、自動化オープンケーソンとして使用されるプレキャスト躯体の構築方法について、実証施工実験以後の課題解決のために行った上述の試験の概要と結果についてまとめている。

自動化オープンケーソン工法プレキャスト躯体構築試験経過

H.5.7～H.6.3　（鴻池組鴻巣機材ｾﾝﾀｰ）

実証施工実験

成果	・ﾌﾟﾚｷｬｽﾄ 部材の施工性，施工能率の把握（ｺﾝｸﾘｰﾄ接合継手、くさび接合継手の比較） ・場所打ち部との接合性、施工能率の把握
課題	・基準ﾘﾝｸﾞの設置精度（製作時の再現）の信頼性 ・水平接合面(ﾏｯﾁｷｬｽﾄ面）に隙間の発生（接合面の打設時の仕上げ、埋込金具取付不良による急激な不陸の発生）

改善点

・設置方法、設置精度の確認方法
・接合面の仕上げ、埋込金具固定治具の考案及び固定方法
・ｶﾞｲﾄﾞｷｰの固定方法

H.6.3～H.6.7　（P.S 小田原工場）

再製作・組立試験

成果	・設置精度の確認方法を確立 ・接合面の仕上げ、埋込金具やｶﾞｲﾄｷｰの設置に起因する不具合の解消
課題	・千鳥組配置の構築方法では高い設置精度が要求され、ﾗｲﾅｰﾌﾟﾚｰﾄ を用いて基準ﾘﾝｸﾞの高さを調整する方法では、組立が困難 →構築方法の見直しが必要

改善点（構築方法の変更）

・基準ﾘﾝｸﾞの支持にゴムを使用し測量誤差、設置誤差を調整（ゴム支承使用時の変形量の解析）
・一般部材２段を仮結合して一体化し基準ﾘﾝｸﾞとする(基準二段ﾘﾝｸﾞ方式）
・構築時の組立管理値を設定

H.6.8～H.6.9　（P.S 小田原工場）

基準二段リング方式組立試験

成果	・管理値内で基準ﾘﾝｸﾞの組立が可能であることを確認（5.0㎜程度のﾚﾍﾞﾙ 誤差多少の設置誤差は調整可能） ・ｼﾞｬｯｷｱｯﾌﾟで微調整可能（試験実施）
課題	・ゴムの反発力によるリングの浮き上がりが発生

改善点

・浮き上がり防止対策
（溶接結合やボルト結合による仮固定、ゴム支承除去）
・ｶﾞｲﾄﾞｷｰ を増し組立精度を更に向上

H.7.1　（P.S 秦野機材ｾﾝﾀｰ）

予備試験

・ゴム支承の荷重－歪曲線の確認試験
・載荷時のゴム支承除去(ﾗｲﾅｰﾌﾟﾚｰﾄ引抜)試験
（引抜荷重、摩擦係数確認）

H.7.2～H.7.3　（建設省土木研究所）

浮き上がり防止試験

成果	・溶接結合方式、ボルト結合方式、ゴム支承除去方式とも、浮き上がり防止可能

ガイドキー接合試験（増設に伴う確認試験）

成果	・ガイドキー増設に伴う施工的問題は無く組立精度向上を確認

報告書作成

完　了

2．再製作・組立試験の概要

2．1　試験目的

実証施工実験ではプレキャスト躯体接合継手の施工性をはじめ、全体の施工性、施工能率の把握についても成果を得ることができたが、構築途中でリングの接合面に不具合個所が発生し、緊張時ひび割れが生じて構築に課題を残す結果となった。

ここでは、基準リングを工場製作時の状態で精度よく現場で再現する方法やその確認方法、接合面の仕上げ、埋め込み金具やガイドキーの固定方法が原因となり得る水平接合面（マッチキャスト面）の間隙の解消等、課題となった点を十分検討改善し、実証施工実験で製作したものと同規模の部材を製作して、千鳥配置で再度組立を行うとともに、それらの組立の際の安全性を確認することを目的としている。

2　2　試験期日

全体期間　平成６年３月１５日～７月２０日

試験期間　平成６年７月１２日～７月２０日

2．3　試験場所

(株)ピー・エス　小田原工場

2．4　試験方法

供試体の製作および組立試験を行うにあたって、次の点を留意、改善する。

（１）基準リングを確実に設置し、設置精度を確認する方法を確立する。

・製作時において、基準リング底面を完全には水平にできないので、水平にするポイントを特定（支承部）して製作する。
現場での設置時は、そのポイントに合わせてライナープレートによりレベル調整した上で設置する。

・水平ズミ、目地間隔、ポンチプレート等を用いて、工場製作時と現場設置時と同一位置で設置精度を測定できるようにする。

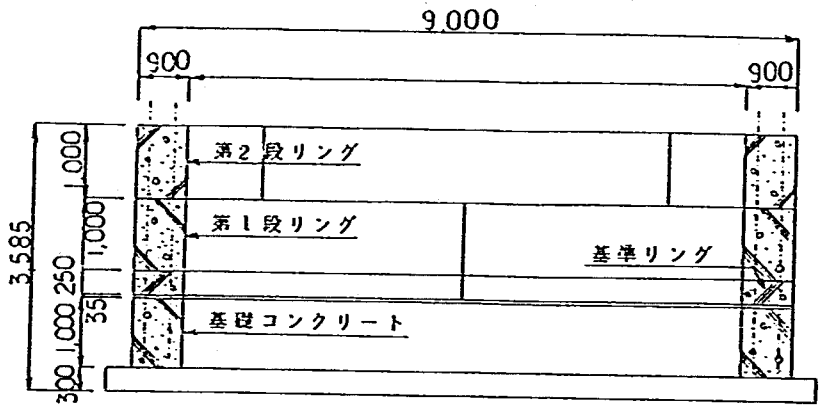
（２）水平接合面に間隙が発生する要因を取り除く。

・接合面の仕上げを慎重に行うとともに、吊り金具やアンカープレート、シース管等、急激な不陸が懸念される埋め込み金具の固定治具を改善する。

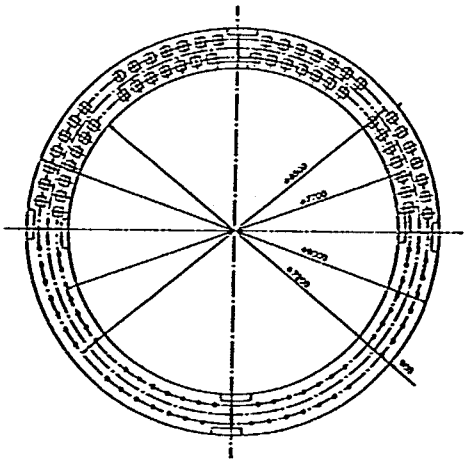
・ガイドキーの固定方法を改善し、取付精度（鉛直性）を向上させる。

以上の点を改善し、実証施工実験と同様の手順で製作と組立を行う。設置レベル、上下リング間の隙間、目地間隔等の計測データー等から、基準リングの設置

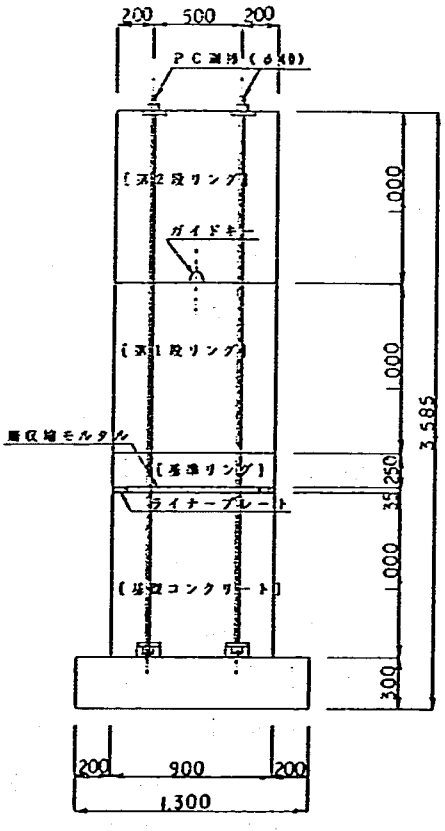
精度を確認するとともに、２段目以降の構築が確実で信頼おけるものであるかを確認する。



図－２．１　組立断面図



図－２．２　組立平面図



図－２．３　組立断面詳細図

2．5　試験結果および考察

接合面の仕上げは慎重に行われ、埋め込み金具やガイドキーの固定方法を改善したため、これらに直接起因するブロック間の隙間の発生は殆ど解消された。

しかし、基準リングの設置は入念な施工にもかかわらず内外で１．０㎜程度のレベル誤差を生じた。また、１段目と基準リングとは千鳥配置とせず同一位置で設置したため、誤差が増長され最大２．０㎜程度となった。このレベル誤差はそのまま１段目と２段目の目地の隙間（最大１．９㎜）となって表れ、このスパンでの許容たわみ量０．６㎜を大きく越える結果となり、緊張時にひび割れを発生させる原因となった。

緊張時接着剤の塗布は行わず、緩衝材が全くない状態であったが、このように許容たわみ量以上の隙間が生じると、ひび割れが発生する可能性が極めて高くなるため、この状態での緊張作業は無理であることが判明した。

以上の計測結果より、プレキャスト躯体の構築において０．１㎜単位で設置精度を確認することは可能となった。しかしながら、ライナープレートを用いて基準リングの高さを調整する方法では十分な設置精度が得られず、信頼性のある構築方法とは言えない結果となった。

2．6　課題と対処方法

千鳥配置での構築方法では高い設置精度が要求され、現状の構築方法では基準リングの設置に、これ以上の精度を要求することは極めて困難であることが判明した。

このことから、分割リングを千鳥配置で構築するには根本的な構築方法の見直が必要となり、検討の結果、次のことを基本にした構築方法で組立を試みることとした。

・測量誤差、設置誤差の吸収調整　・・・・・ゴム支承の使用

・基準リングの信頼性　・・・・・・・・・・・・・・・２段のリングを緊張結合して一体化し基準とする。

この構築方法を基準二段リング方式と呼ぶ。

3．基準二段リング方式組立試験の概要

3．1　試験目的

前回の再製作・組立試験において、リングを分割し千鳥配置で構築する場合、厚さが薄くしかも１段で構成する基準リングの使用は、僅かな測量誤差、設置誤差があっても、ブロック間に隙間が生じることが判明した。

新たに提案した基準二段リング方式は、場所打ち部の不陸調整用にゴム支承板を挿入するため、測量誤差、設置誤差が多少あってもバネの上に部材を置いた状態になり、２段を緊張結合することで製作時の水平接合面を再現することができる。

ここに基準二段リング方式における様々な設置状態での組立・結合試験を行い、施工性の把握とともに、設置レベル、リング間隙間、目地間隔、ゴム支承厚さの変化等を計測し、基準二段リング方式による構築方法が十分に安全であることを実証確認する。

3．2　試験期日

試験期間　平成　６年　８月～　６年　９月

3．3　試験場所

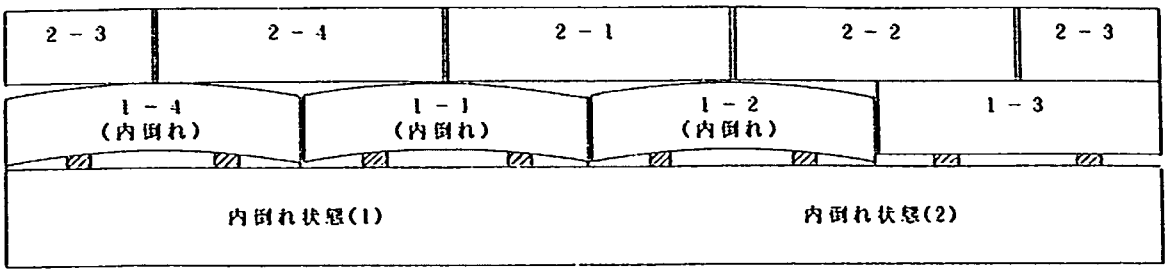
(株)ピー・エス　小田原工場

3．4　試験方法

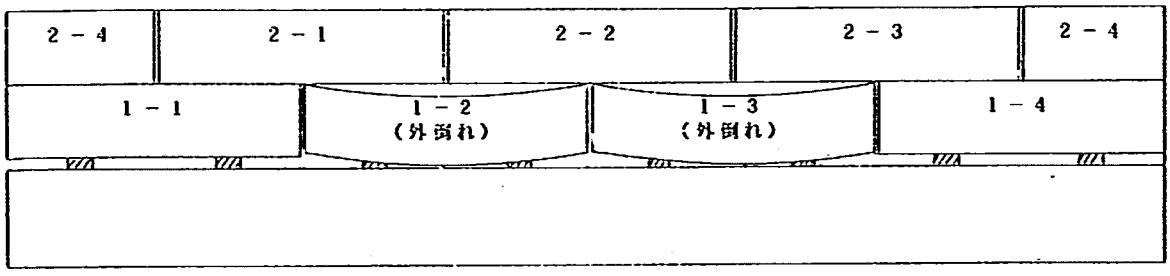
基準二段リング方式の構築方法は、場所打ち部にレベル調整したライナープレート上にゴム支承板を置き、その上にそれぞれ分割したリングを千鳥状態で２段設置し、仮結合して２段のリングの一体化をはかり基準リングとした。仮結合にはゲビンデ鋼棒（φ２６×３２本）を用い、仮締め（ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ量２．８kgf/cm²）を行った。

今回の組立試験は、場所打ち部を想定した基礎上のライナープレートの高さを変化させ、図－３．１に示すように基準リングが内倒れ状態、外倒れ状態、谷部と段差部が生じる状態や、リング間の段差が発生しない状態を設定し、組立試験を行った。

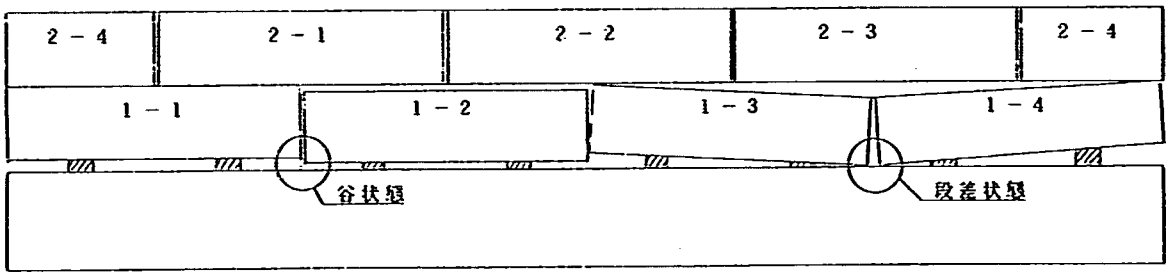
試験の評価は、製作時に印した水平ズミを各設定状態でレベル測定するとともに、１段目と２段目間の隙間、各ピース間の隙間、ゴム支承厚さの変化等の測定データによって設置精度を判定し、構築の精度と応力的な安全性を確認することにより行う。尚、今回の試験に用いる部材は、前回の組立試験時に使用した部材を利用するすることとした。



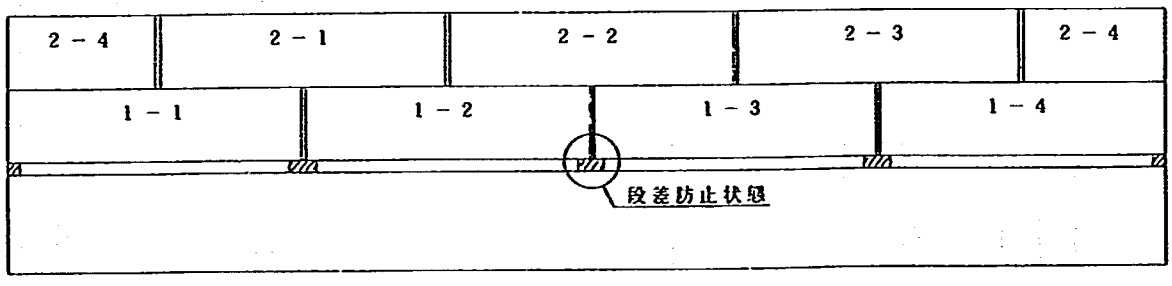
（A）内倒れ状態



（B）外倒れ状態

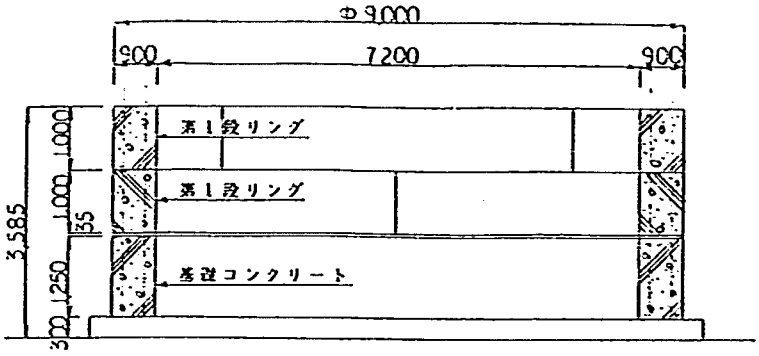


（C）谷部・段差部発生状態



（D）段差防止状態

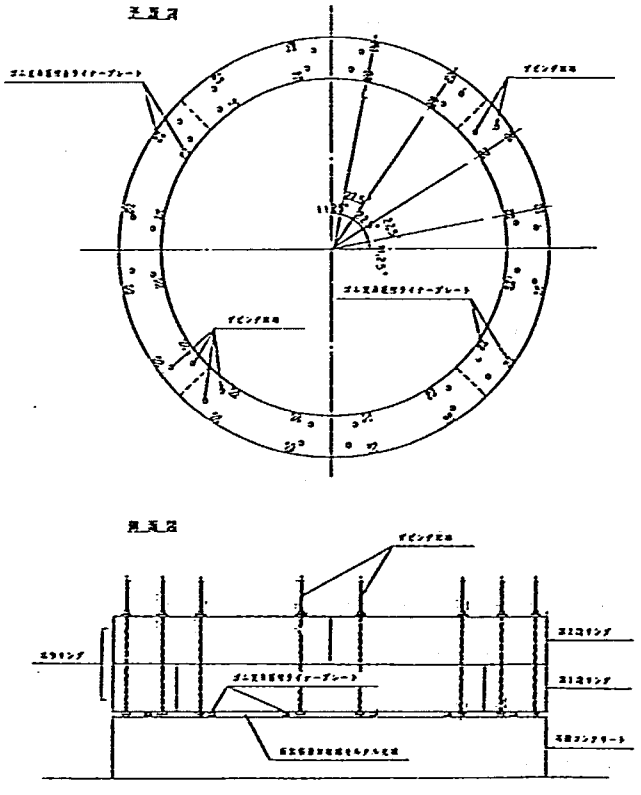
図－３．１　基準リング試験設置状態



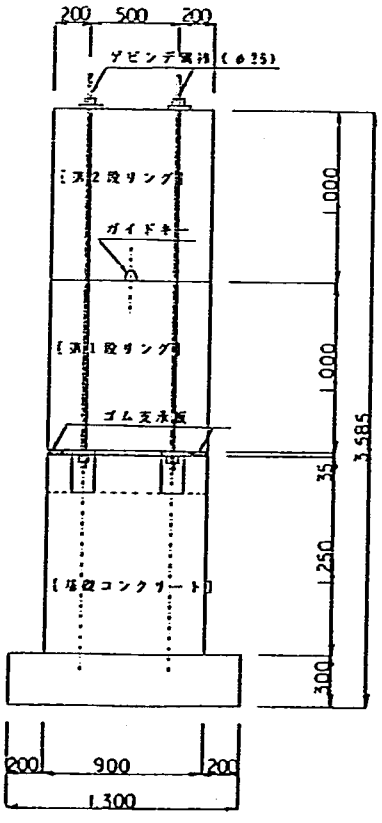
図－３．２　組立断面図

（１）内倒れ状態、外倒れ状態、谷部と段差部が生じる状態

ゴム支承板を基礎部の内側に１６点、外側に１６点（１ピース４点づつ）を等間隔にセットし、その上に１段リング、２段リングを設置する。各状態の設定は、現状のコンクリート天端高さを考慮しながら、ライナープレートにより１段目の各ピースの高さを、それぞれ想定する状態に応じ２㎜～３㎜の範囲で調整し設定した。



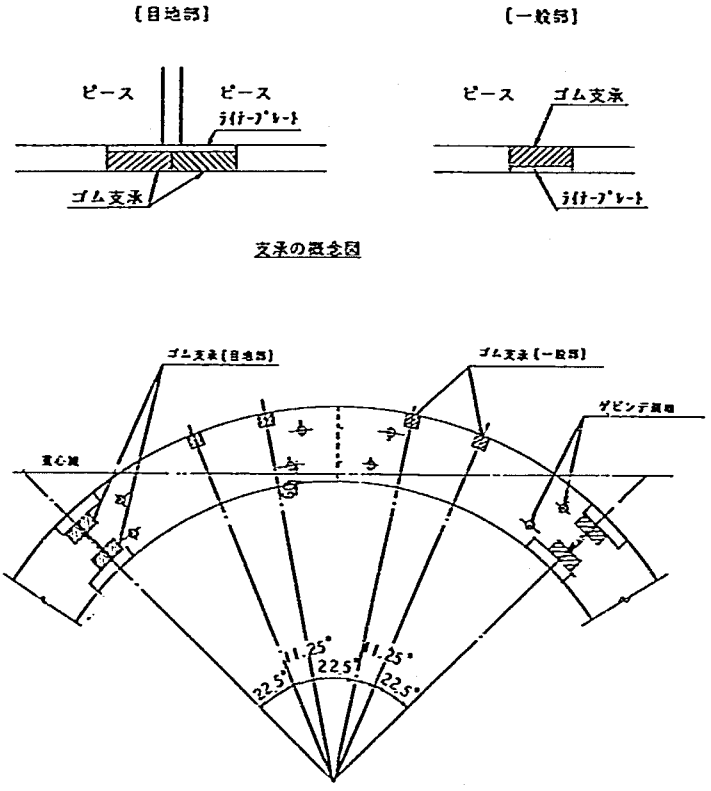
図－３．３　基準二段リング方式組立概要図



図－３．４　組立断面詳細図

（２）段差防止状態

各ピース間に段差が発生しないように、隣接するピースを連続したゴム支承上に置きリングを組み立てるもので、支承の配置は重心の関係から、１ピースでは内側２点、外側６点で支持することとした。レベル誤差の設定は、１段目リングの製作時に底面に５㎜程度の凹凸があったことから、これを設定誤差とした。



図－３．５　支承の配置図

3．5　試験結果および考察

様々な設置状態を想定し組立試験を行った測定結果から分かるように、前回リング間の隙間は最大１．９㎜程度あったが、今回は仮結合前でも０．５㎜、結合すれば０．２～０．３㎜以内に収まっており大幅に改善されている。

このことはゴム支承板がバネの働きをし、下の場所打ち部の不陸を調整するとともに、２段のリングを仮締めすることにより一体となって水平接合面の一面性を保つため、５．０㎜程度のレベル誤差、設置誤差は吸収調整可能なことを裏付ける結果となった。

各状態での組立結果から判定すると、隣接ピースにまたがってゴム支承を設置した段差防止状態が最も設置精度がよく、レベルは１．０㎜以内、１段目と２段目の隙間も０．３㎜以下となり、安全と思われる管理値を満足しているため、現実可能な組立方法ではないかと推察される。

ただし、段差以外の状態は起こりうる可能性があり、許容値以上のレベル誤差が生じた場合の対策として、ジャッキを補助工法として準備しておくことが望ましい。今回ジャッキアップ試験も行っており、２．０㎜程度のレベル修正は十分可能であることが確認されている。

表－３．１　レベル、隙間計測結果

計測項目 / 設置状態		２段目基準リング高さ		1段目と2段目ﾘﾝｸﾞ間隙間	
		仮結合前	仮結合後	仮結合前	仮結合後
（１）	内倒れ状態①	max 2.5mm	max 2.0	max 0.5mm	max 0.2mm
	内倒れ状態②	max 1.5mm	仮結合無し	max 0.5mm	仮結合無し
	外倒れ状態	max 3.0mm	仮結合無し	max 0.4mm	仮結合無し
	谷・段差状態	max 3.0mm	max 2.5mm	max 0.5mm	max 0.2mm
（２）	段差防止状態	max 1.0mm	max 1.0mm	max 0.4mm	max 0.3mm

また、今回の試験において、１ピース２個のガイドキーでは組立はできても真円を保持する機能を持たないため、真円保持のためには１ピース３個以上のガイドキーが必要となることが確認された。

これらの試験結果から、二段基準リング方式は多少の測量誤差、設置誤差があっても吸収して調整することができ、基準リングとしての機能を発揮することが

確認できた。

この基準二段リング方式における組立の際の留意点は次のとおりである。

（1）各ピース間にまたがるようゴム支承板を設置する。
（2）補助工法としてジャッキの併用を考慮しておく。
（3）真円を保持するためガイドキーの数を増やす。‥‥1ピース3個以上
（4）基準リング組立時の管理値を次のとおり。
・1段目と2段目間の隙間‥‥0.5㎜以内
・2段目基準リングの高さ‥‥1.0㎜以内

3．6　課題と対処方法

基準二段リング方式における組立試験は一応満足できる結果であり、実工事に十分適応できることが確認できた。しかし、この方式における2段のリングの結合は、あくまで仮結合であって接着剤は使用していない。仮結合で管理値をクリアーしていても、本結合においては2段目リングを一旦切り放し接着剤を塗布する必要がある。

この2段目リングの切り放し時点で問題となることは、ゴムの反発力により1段目リングが浮き上がり、再設置しても仮結合時の状態に戻らず、構築に悪影響を及ぼすことである。

この工程手順は避けることができないため、何らかの方法でこの浮き上がりを防止する必要があり、検討の結果次の方法のいずれかで対処することとし、確認は要素試験によることとした。

（1）1段目部材固定方式（場所打ち部と基準リング1段目部材を固定）
・溶接結合方式
・ボルト結合方式
（2）ゴム支承除去方式（ゴムを除去し反発力を解消）

4．浮き上がり防止試験の概要

4．1　試験目的

前回の試験において、この仮結合後の２段目リング取り外し時、ゴム支承の反発力のため１段目リングに浮き上がり現象が発生し、再設置の際位置関係が変わり、仮結合の再現がはかれずリング間に隙間が生じた。

本試験は、構築に悪影響を及ぼす浮き上がりを防止するために、３種類の方法で要素試験を行うと同時に、ガイドキーの増設に伴う設置精度の影響等も確認する。

4．2　試験期日

試験期間　平成　７年　１月～平成　７年　３月

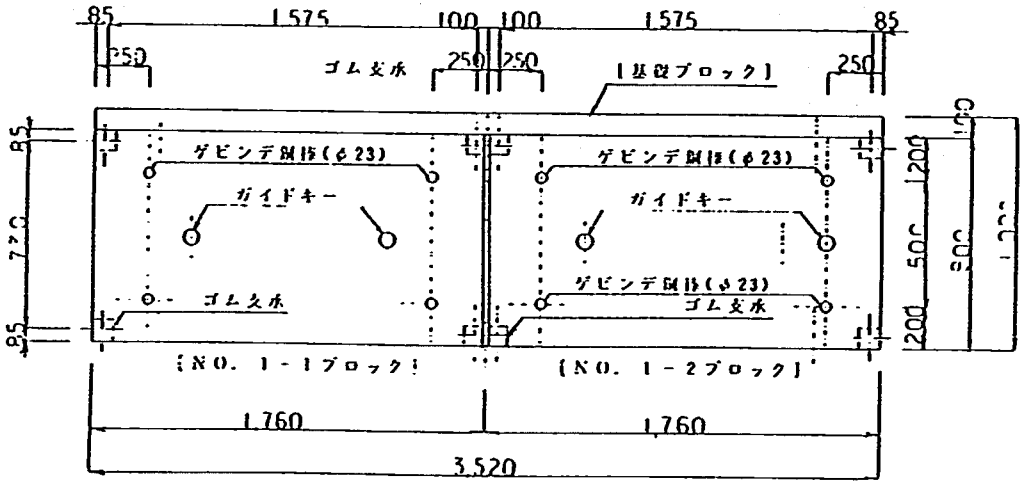
4．3　試験場所

建設省土木研究所構内

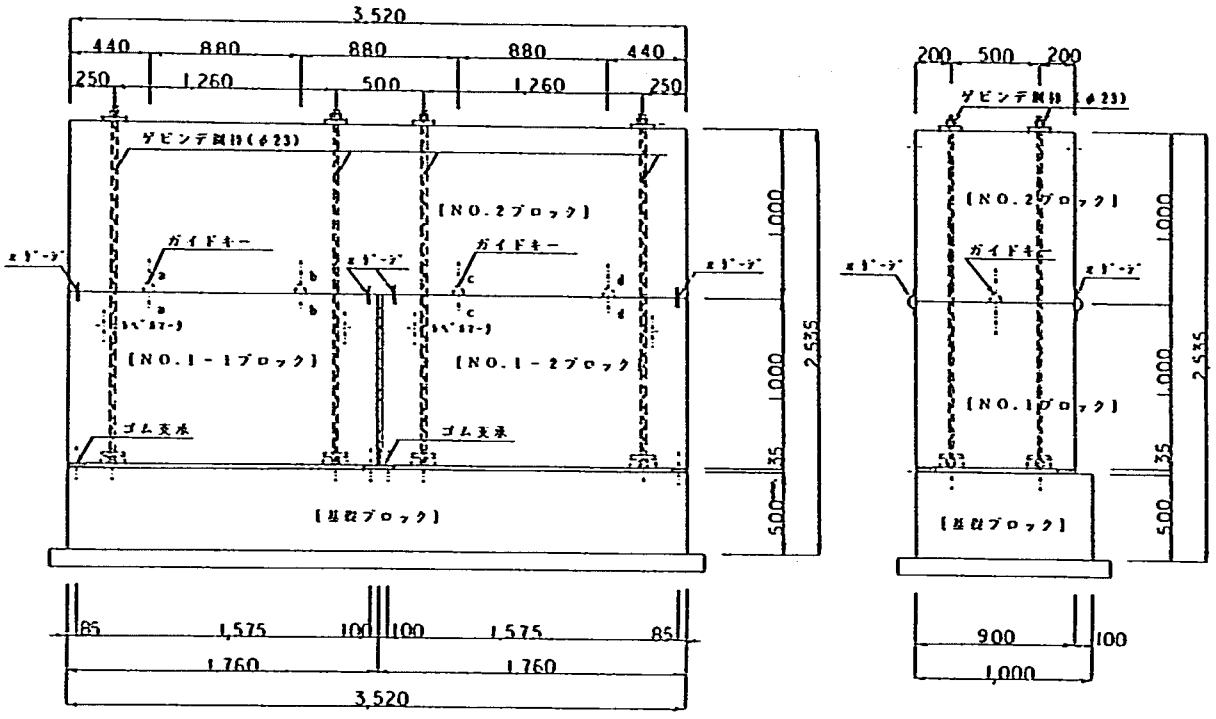
4．4　試験方法

１）ガイドキー接合試験

図－４．１、４．２に示すようにガイドキーは１ピース４個設置し、２段目ブロックを設置した後８本のゲビンデ鋼棒で仮結合（緊張荷重１０tf/本）し、上下ブロックを一体化する。この２段目ブロック設置時の１段目と２段目ブロック間の隙間量および仮結合後の変位量を、隙間ゲージとπゲージで計測し、設置精度を判定する。



図－４．１　ガイドキー接合試験平面図



図－４．２　ガイドキー接合試験組立図

２）浮上り防止試験

この試験は、基礎部材の上にレベル調整したゴム支承板（４個所）を置き、１段目、２段目のブロックを設置、水平目地部の無収縮モルタルが硬化した後に行う。浮き上がり防止方法は大別して１段目ブロックを固定する方法と、ゴム支承板を除去する方法がある。

試験結果の評価は、１段目ブロックに取り付けた変位計（鉛直方向４個所、水平方向４個所）を使用し、２段目ブロックを切り放す前後で、基礎ブロックと１段目ブロックとの鉛直および水平方向の相対変位量の測定結果で行うものとする。

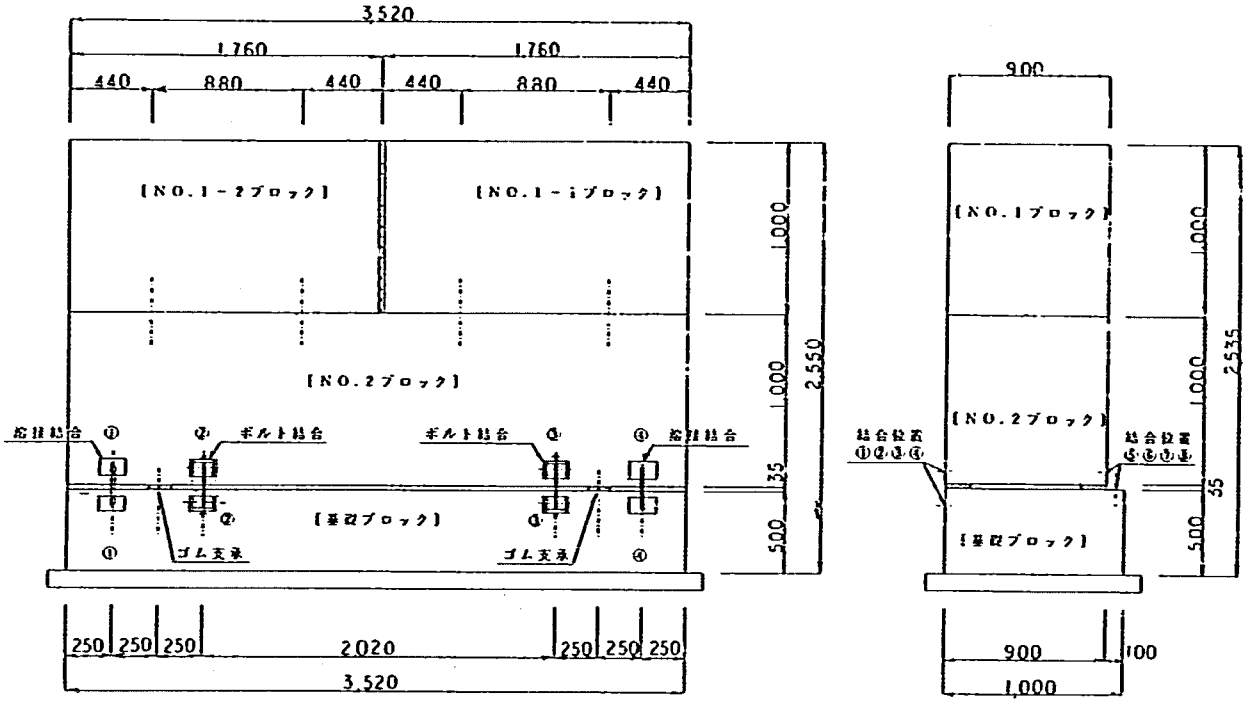
（１）溶接結合方式とボルト結合方式確認試験

浮上り防止試験の組立図を図－４．３に示す。

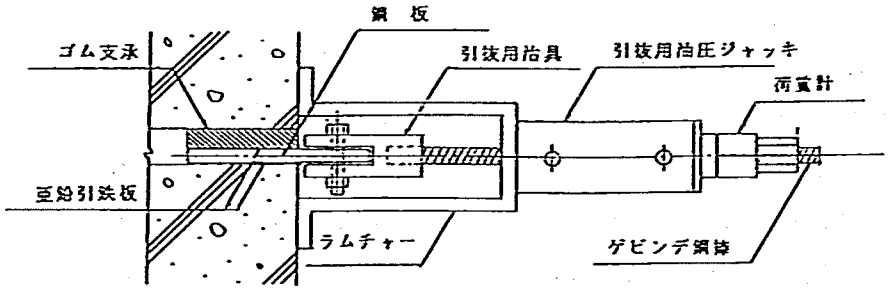
無収縮モルタルが硬化後、１段目ブロックを基礎ブロックに固定するもので、固定方法は上下ブロックに埋め込んだインサートプレートを鋼板で溶接する方法、および上下ブロックにブラケットを取り付け、ボルトで結合する方法の二種類とし、固定個所は各々４個所とする。試験時の２段目ブロックの撤去時の浮上り力は１個所当たり３．５tfであり、溶接強度およびボルトの締付力はこれに耐えられるものとした。

（２）ゴム支承除去方式確認試験

この試験は、基礎ブロックと１段目のブロックの間にゴム支承とともに設置したライナープレートをジャッキ（１０ｌｆ）を使って引き抜くもので、その後拘束力を失ったゴム支承を撤去する。引き抜き時の課題および最大荷重把握のため、万能試験機を使い予備試験を行った。



図－４．３　浮上り防止試験組立図



図－４．４　引抜き装置概要図

4．5　試験結果および考察

1）ガイドキー接合試験

ガイドキー接合試験は、１ピース４個に増やしたガイドキーにより接合組立を行った。プレキャストブロックの施工には全く問題なくスムーズに組立てを完了した。設置後、隙間ゲージ、πゲージを用いて計測を行い、隙間は最大で０．４㎜、鋼棒で仮結合した後の隙間は最大で０．１５㎜であった。又、緊張によるひび割れの発生もなく、解放した後の最大隙間は０．２㎜と緊張後の変化は少なく、非常に良好な結果となった。

この試験で、ガイドキーを増設した効果は十分に発揮され、組立精度向上を確認することができた。

2）浮き上がり防止試験

溶接結合、ボルト結合方式とも、撤去時の変位量測定結果は全て０．１㎜以下で許容値以内に収まっており、浮き上がり防止策としてはその目的をを達している。

ゴム支承除去方式は、ゴム支承１個所当たりの負担荷重は平均４．０tfで、ライナープレート引き抜き時の最大荷重は平均２．３２tfであった。摩擦係数は０．５７となり、予備試験時より多少大きくなったが、ライナープレートをスムーズに引き抜くことができ、容易にゴム支承を除去することができた。引き抜き時の変位量も全て許容値以内であり、総体的に良好であった。

各方式の作業時間は、準備作業を入れても７～１０分／個所程度で、作業性も余り差がないが、溶接結合方式、ボルト結合方式については、製作時または組立時にプレートやブラケット設置用のボルトを取り付けておく必要があり、これにかなりの時間と費用を要する。これに対してゴム支承除去方式は、事前準備としてフックのついたプレートを挿入しておくのみでよく、作業も１０．０tf程度の油圧ジャッキを使用して引抜くだけでよいため、比較的容易に施工できる。かつ、不必要となったゴムを取り除きモルタルで充填できるメリットがあり、溶接結合方式やボルト結合方式より有利な浮き上がり防止策ではないかと思われる。

5．結　論

以上のように実証施工実験において課題となった点の検討、改善を行い、安全な構築方法を確立すべく試験を重ねてきたが、分割したリング状のプレキャストブロックを千鳥に組み立てることは問題点も多く、これまでの構築方法では困難であると判断し、構築方法の見直しを行うこととなった。

これまでの課題であった基準リングの設置精度を向上させるために、測量誤差、設置誤差を容易に調整できる技術を検討し、確認試験を行った。その結果、ゴム支承の上に分割されたリング部材２段を千鳥に配置し、結合、一体化を図る基準二段リング方式が最良の方法であると判断された。この方式の課題として残ったゴム支承反力による１段リングの目浮き上がりも、要素試験によって対策が確認されており、この基準二段リング方式は、実工事においても十分適応できる構築方法であると考えられる。

以下基準二段リング方式の構築管理方法を示す。

【構築管理方法】

（１）基準リングの設置は、ゴム支承（バネ定数 2,800～3,500kgf/cm 程度）を使用する。

（２）基準リングを設置するゴム支承部の高低差は、ゴム厚３５㎜（バネ定数は上記の値）を使用した場合、５．０㎜以内になるようライナープレートでレベル調整する。

（３）隣接するピース目地部のゴム支承板の配置は、両ピースにまたがって設置する。

（４）基準リングとしては、分割されたリング部材（一般部材）２段を千鳥に配置し、結合、一体化（仮緊張３．０kgf/cm²程度）した基準二段リングとする。

（５）結合時の緊張力は、断面に均一に導入する。

（６）基準リングの仮設置時の目標管理値は次のとおり。（今回の試験と同程度の寸法の部材を使用した場合）

・１段目と２段目間の隙間 ……０．５㎜

・２段目のレベル ……１．０㎜

（６）基準リング設置の補助工法として、ジャッキの併用を考慮しておく。

（６）基準リングの仮設置後（充填モルタル硬化後）、浮上り防止のための措置をする。

（７）ガイドキーは１ピースに３個以上設置する。

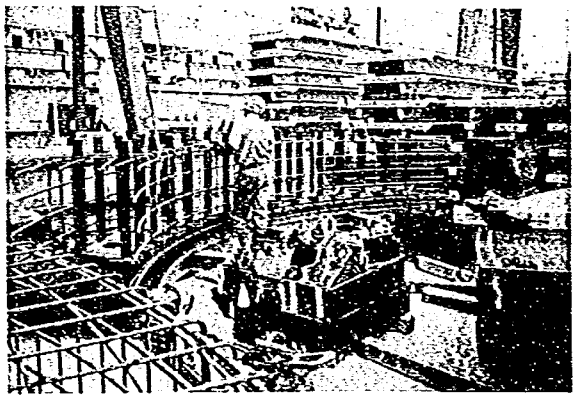
現在、この二段基準リング方式における構築の管理値は非常に厳しい値となっているが、プレキャストブロックの施工精度を上げるためには最小限必要な数値である。しかし、施工の簡素化のため今後施工実績が増加し安全性が確認されるに伴い、目標管理値を緩和する方向で検討する必要がある。3段目以上の据え付けについては特別試験は行っていないが、基準リング構築の精度の良さと接着剤の使用等を考慮すると、今回までの実証試験の結果で十分安全な構築が可能であると推定できる。

また、プレキャスト工法のメリットである工期短縮をさらに図るために、数リング毎にまとめて千鳥配置で組み上げるなどの方法も考えられるが、各層の累積が僅かな不具合を増長させるという構築上の問題を有しており、構造上の問題とも合わせ今後の大きな検討課題といえる。

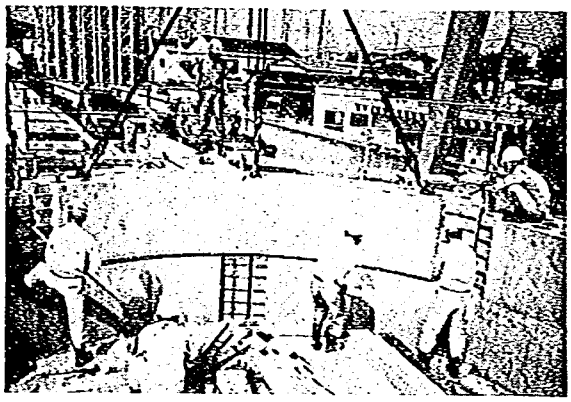
構築方法確立のための追加試験

状 況 写 真

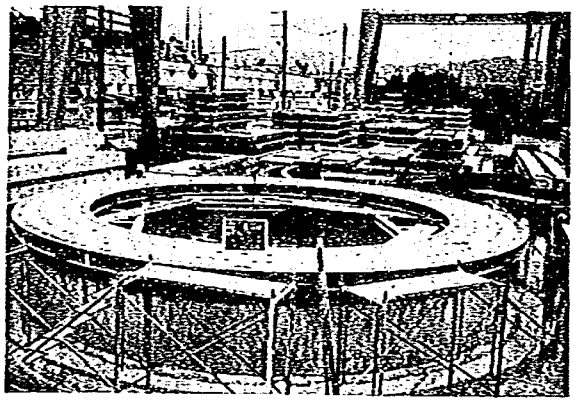
再製作・組立試験



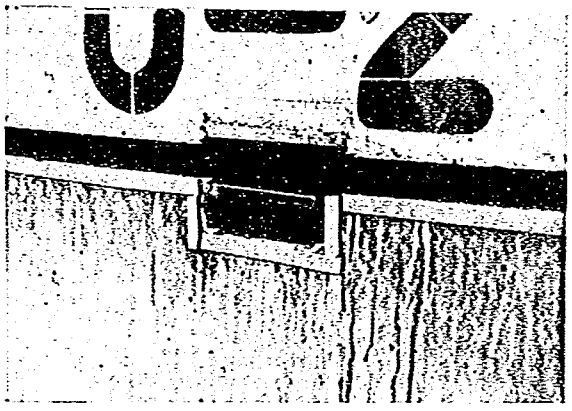
基礎部（アンカーフレーム）製作



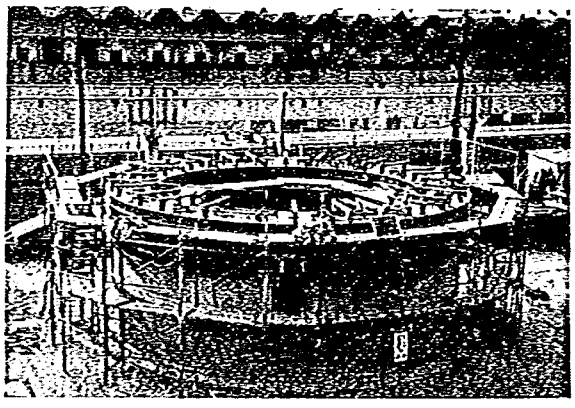
製品解体



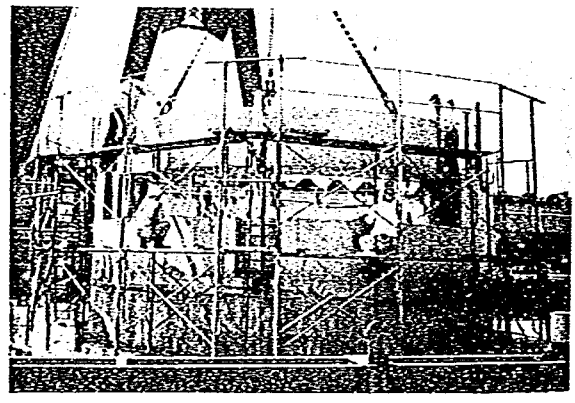
基準リング製作



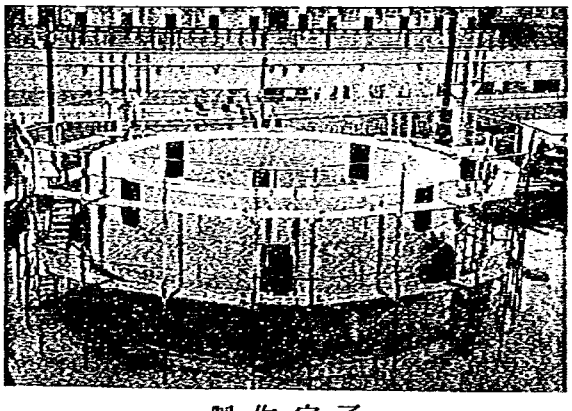
基準リング設置（ﾎﾞﾙﾄ式ﾗｲﾅｰﾌﾟﾚｰﾄ）



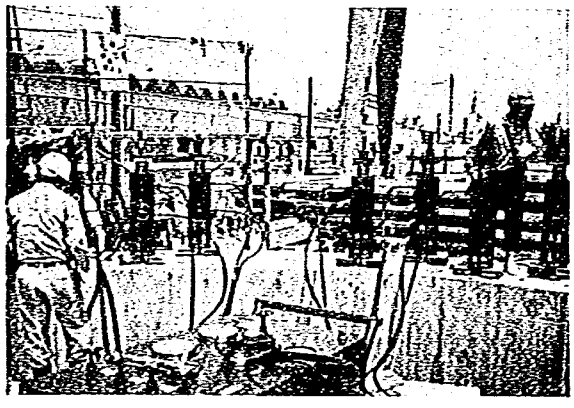
2段目リング製作



1段，2段リング設置

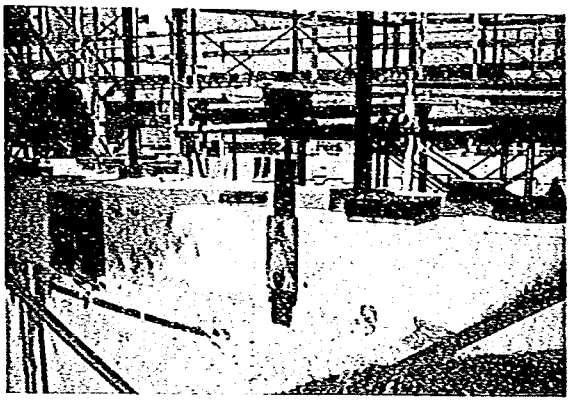


製作完了

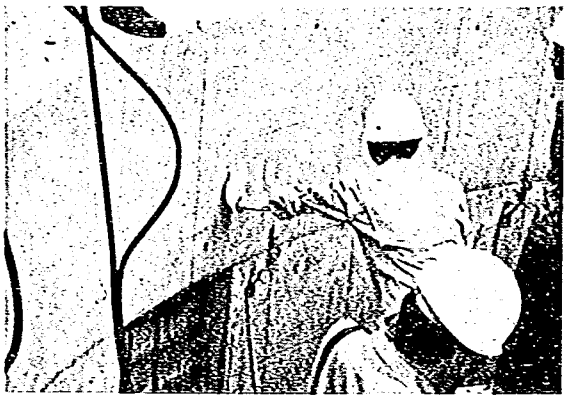


緊張試験

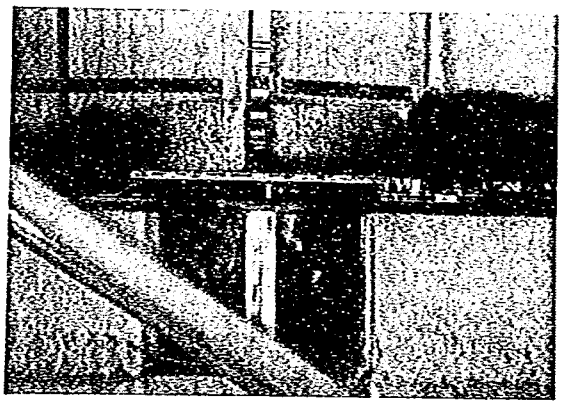
2段基準リング方式組立試験



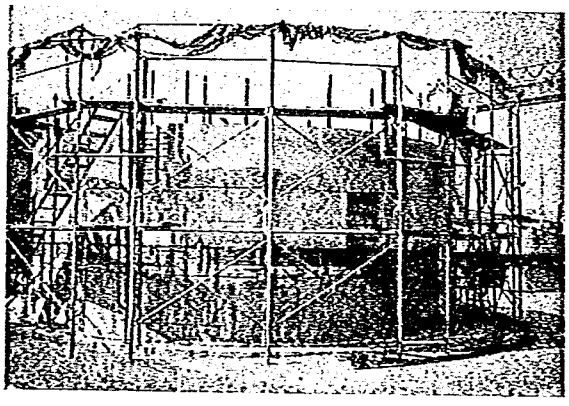
ゴム支承板設置



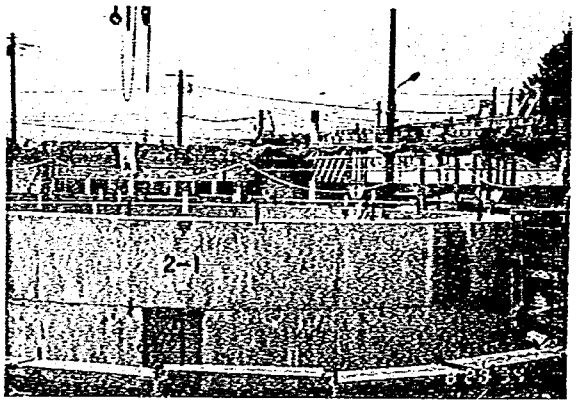
隙間計測



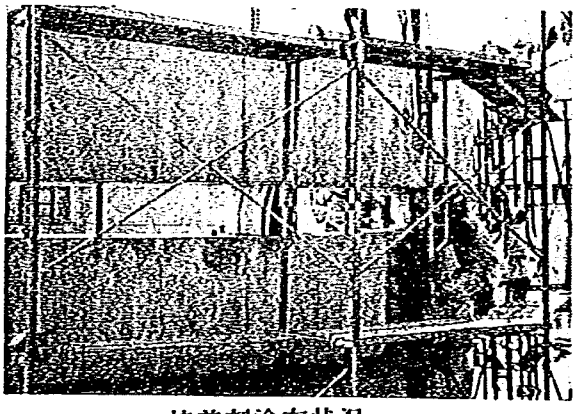
ゴム支承変形状況



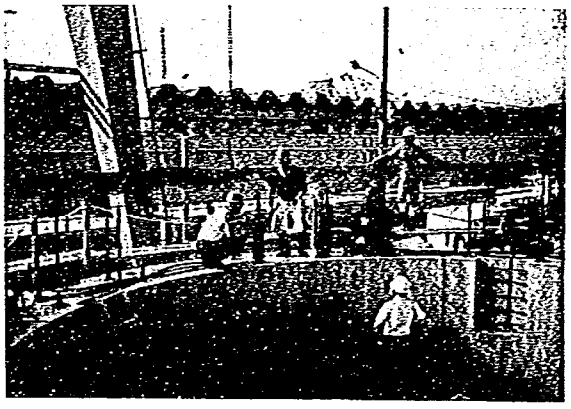
無収縮モルタル充填



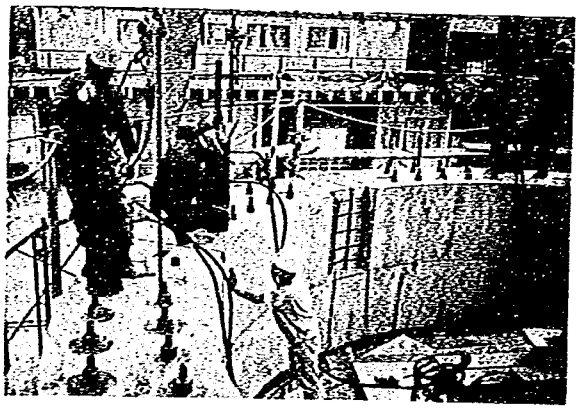
リング設置完了



接着剤塗布状況

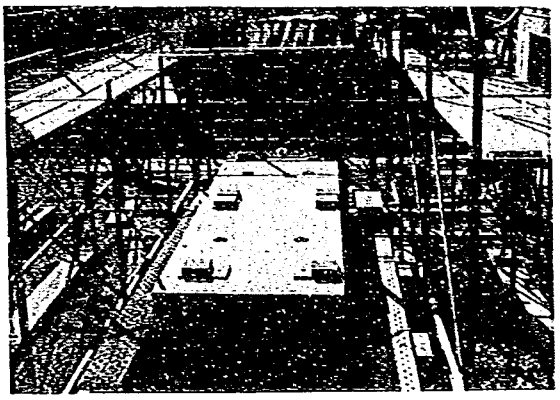


仮結合（緊張）

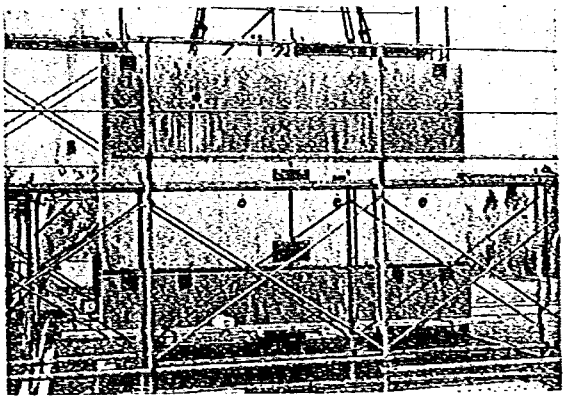


緊張試験

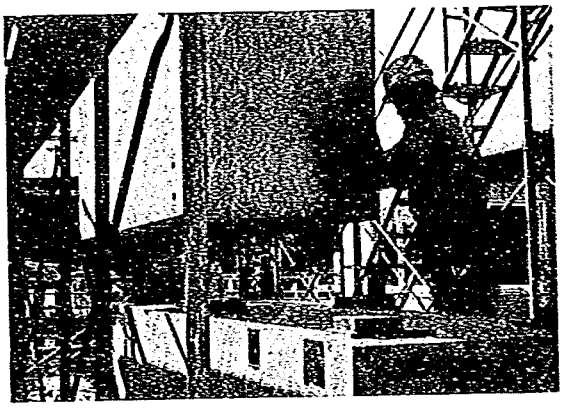
ガイドキー接合試験



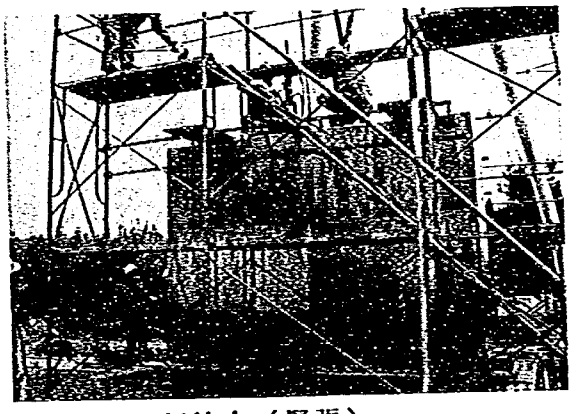
ゴム支承設置



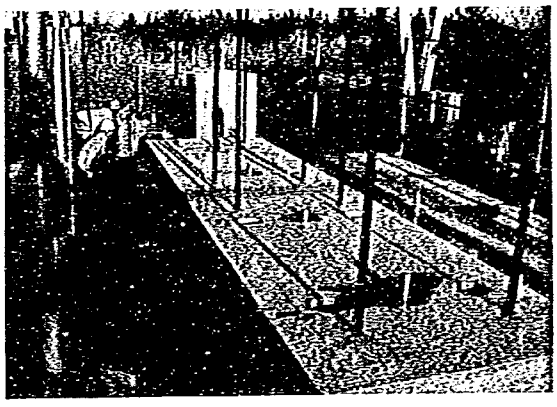
2段目ブロック設置完了



1段目ブロック設置



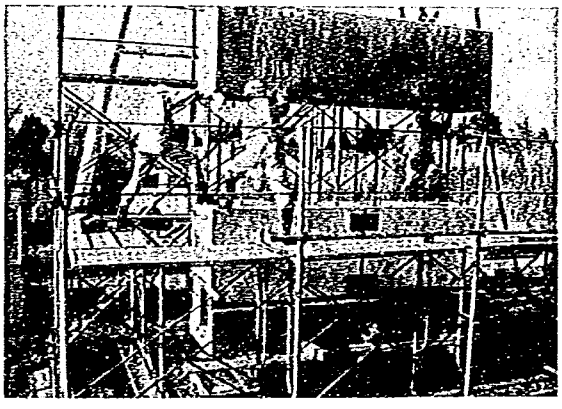
仮結合（緊張）



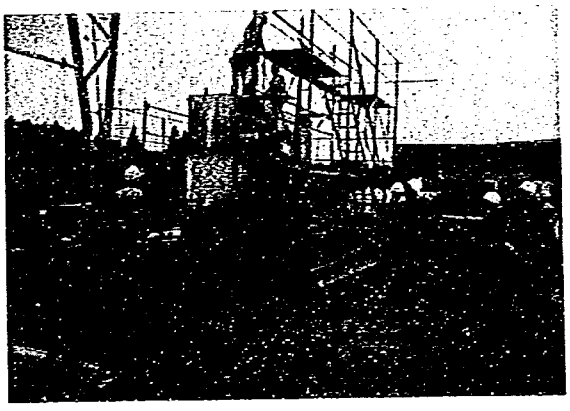
ガイドキー設置



隙間測定

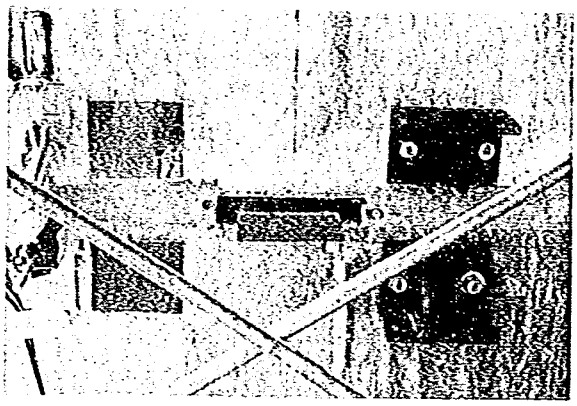


2段目ブロック設置



試験視察状況

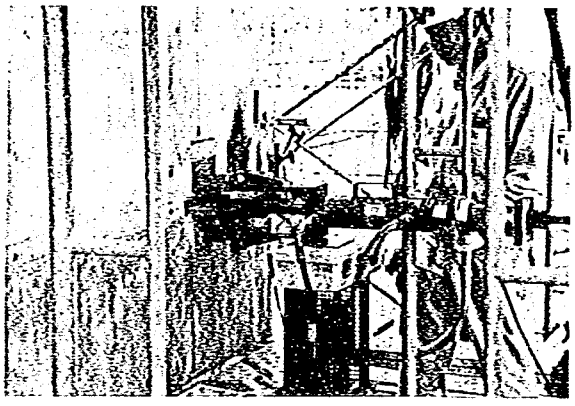
浮き上がり防止試験



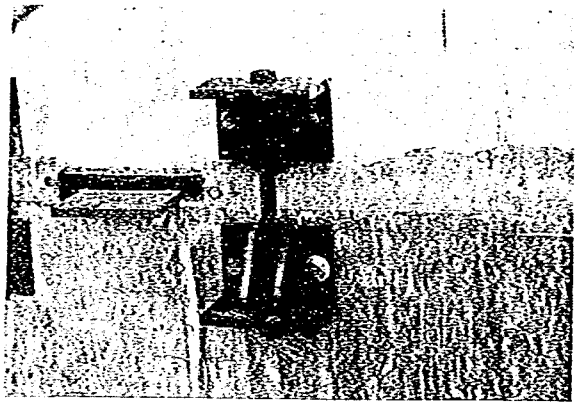
結合部及びゴム支承部



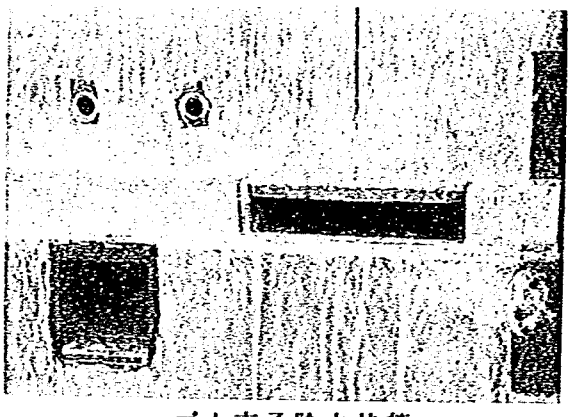
ボルト締め作業



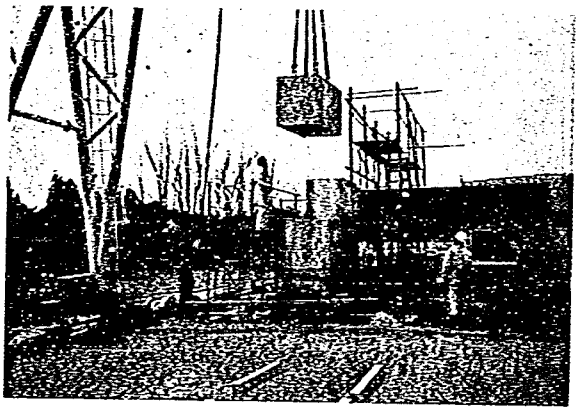
ゴム支承除去方式（プレート引き抜き状況）



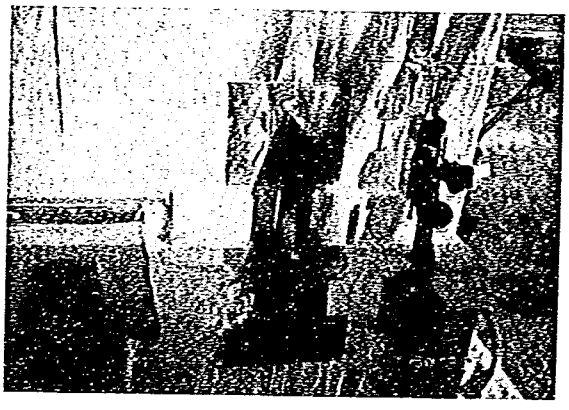
ボルト結合方式（ボルト結合部）



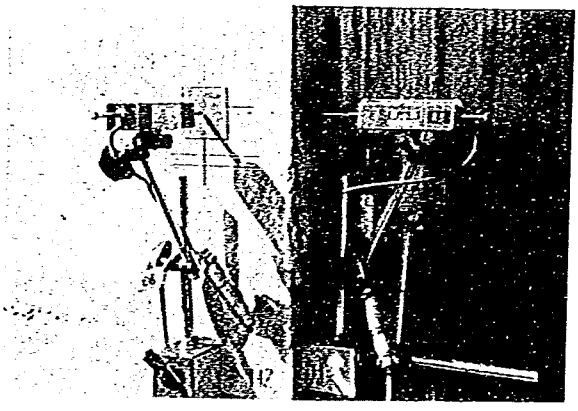
ゴム支承除去状態



2段目ブロック撤去状況



溶接結合方式（溶接部）



変位計設置状況

資料－Ⅲ

自動化オープンケーソン工法
自動沈下管理システム

自動沈下管理システム技術資料

1．概要

オープンケーソン工法は、従来より構造物の基礎や立坑等の施工に多く用いられてきた工法であるが、地盤条件によっては充分な施工精度を確保することが難しい工法でもあった。自動化オープンケーソン工法（SOCS）は、従来のオープンケーソンの合理化、自動化を図り、更なる施工領域の拡大を目標として開発されたもので、

①プレキャスト躯体システム

②自動掘削・自動揚土揚土システム

③自動沈下管理システム

より構成される。

本技術資料は、このうち「③自動沈下管理システム」についての、基本的な構成と利用方法について解説したものである。

本システムの開発に着手するにあたり、まず、施工事例の調査を行った。その調査結果によると、大多数がトランシット、レベルおよび水盛管等のみを使用した沈設管理を行っており、自動計測、さらには自動管理を行っているものはごく一部であった。このことからも、高度な沈下管理の下にオープンケーソンの沈設管理を実施している例は少数と言わざるを得ない。近年、圧入式ケーソンが一般的に採用されるようになり、更なる施工の合理化が求められている現状を鑑みれば、優れた自動沈下管理システムを開発、確立する必要性に迫られていた。

ケーソンは、工事毎の個別性が強く、施工管理の主要な点のみについても不確定要素に支配されており、一般化が難しい状況にある。また、オープンケーソンの沈下管理が充分にできなかった要因として、沈下抵抗力や躯体の位置姿勢の把握が充分にできなかったこと、データのフィードバックを迅速に行うことが難しかったこと等が考えられる。

これらを改善するためには、沈下管理上必要な管理項目の重要度をそれぞれ検討し、計測項目との関連を明確にしなければならない。特に、今回の開発目標とした大深度ケーソンにおいて、精度良く確実に、しかも周辺地盤を乱すことなく安全に施工するためには、沈設管理手法の確立が重要になってくる。すなわち、沈下抵抗力や位置姿勢を正確に把握するとともに、これらのデータに基づいた適正な施工管理を速やかに行うことのできるシステムを確立する必要がある。

本自動沈下管理システムは、大深度ケーソンの施工において良好な施工性と品質を確保できるシステムを構築することを目標としており、従来の実施例を分析整理しながら研究を進め、合理的な新システムを構築したものである。

このシステムの開発項目としては、

①姿勢制御の自動化による沈設精度の向上と省力化

②大深度への適応および施工能率と品質管理の向上

③地盤の特性や掘削状況に応じた圧入力、圧入速度等の管理

等が挙げられる。これらの事項はコンピュータ技術を活用した自動沈下管理システムを

構築することによって、その機能をほぼ満足することができた。

本システムは、計測システムと制御システムの２つのシステムより構成される。計測システムは、姿勢制御に必要な項目（傾斜量、沈下量、圧入力等）と沈下抵抗力の把握に必要な項目（刃口反力、周面摩擦力、浮力等）の計測、取込、処理、表示等を自動的に行う。一方、制御システムでは、計測システムより必要なデータを取込み、ジャッキ圧入力およびジャッキパターンを指示することによって姿勢制御を行う。また、圧入のみによる姿勢修正が困難と判断される場合には、警報を発し、掘削作業に移行する指示を出す。

ケーソン姿勢に関しては、一度過大な傾斜を与えてしまうと修正不能に陥ったり、修正が可能であっても多大な工期と工費を要する場合が多い。そのような状況の発生を未然に防止し、ケーソンの沈設精度を確保するためには、

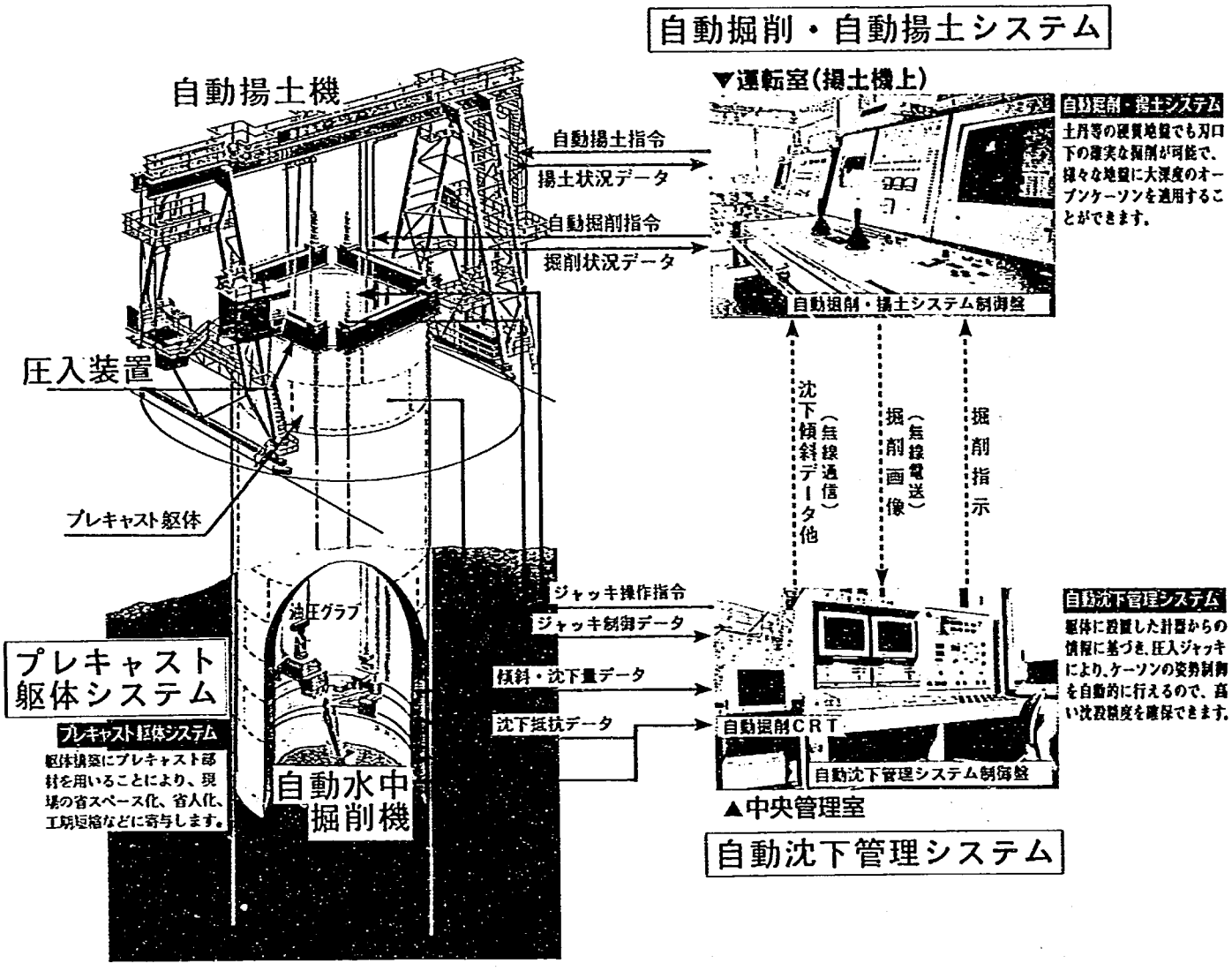
①ケーソン躯体の位置姿勢および沈下抵抗力の常時把握

②リアルタイムでの圧入力制御

等が重要となる。本システムはこの条件を満足する機能を有している。

また、本システムは、自動掘削・自動揚土システムとの連携機能も有し、計測データや作業状況等の情報を互いに交換しながら作業を行うことが可能である。両システムを連動させて用いた場合、高精度な掘削と高精度な圧入の相乗効果により、沈下管理もより高精度で確実なものとなる。

このシステムの全体図を図－１．１に示す。


自動掘削・自動揚土システム
自動揚土機
▼運転室(揚土機上)
自動掘削・揚土システム
土丹等の硬質地盤でも刃口下の確実な掘削が可能で、様々な地盤に大深度のオープンケーソンを適用することができます。
自動揚土指令
揚土状況データ
自動掘削指令
掘削状況データ
自動掘削・揚土システム制御盤
圧入装置
プレキャスト躯体
沈下傾斜データ他（無線通信）
掘削画像（無線電送）
掘削指示
ジャッキ操作指令
ジャッキ制御データ
傾斜・沈下量データ
沈下抵抗データ
油圧グラブ
プレキャスト躯体システム
プレキャスト躯体システム
躯体構築にプレキャスト部材を用いることにより、現場の省スペース化、省人化、工期短縮などに寄与します。
自動水中掘削機
自動掘削CRT
自動沈下管理システム制御盤
自動沈下管理システム
躯体に設置した計器からの情報に基づき、圧入ジャッキにより、ケーソンの姿勢制御を自動的に行えるので、高い沈設精度を確保できます。
▲中央管理室
自動沈下管理システム

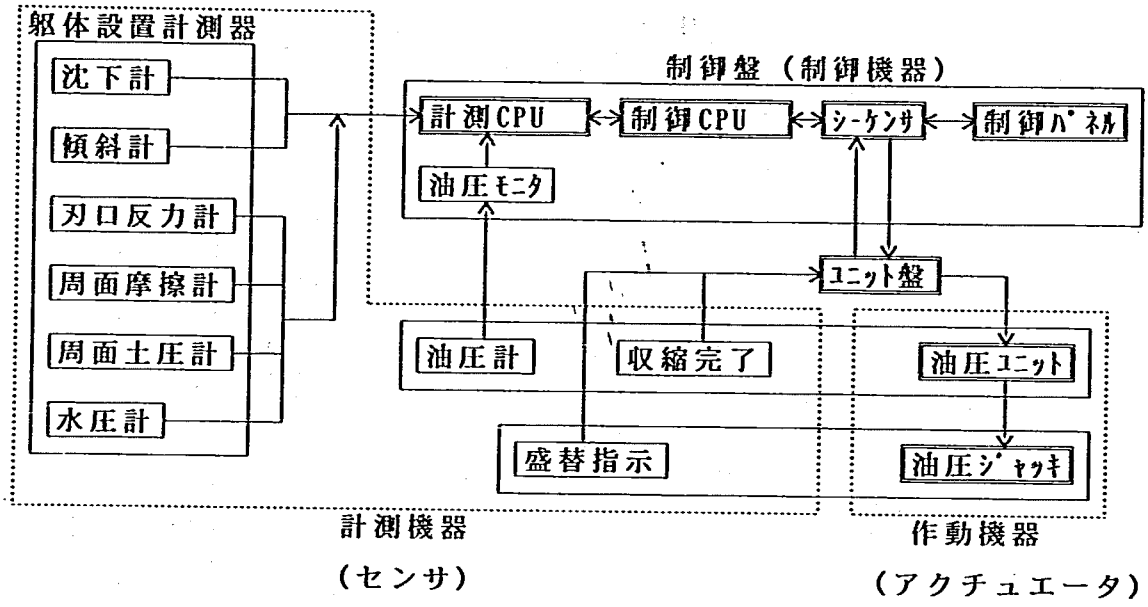
図－１．１　システム全体図

2．自動沈下管理システムの構成

2．1 ハードウェア構成

2．1．1 全体構成

沈下管理システムのハードウェアは、図－2．1のように構成される。



図－2．1 ハードウェア構成

以下に、各構成機器の機能について簡潔に記す。

2．1．2 躯体設置計測器

自動沈下管理システムは、圧入の自動制御に用いるデータを得るために、表－2．1に示す計測器の設置が必要である。

計測機器の接続部等は、施工時の衝撃によって破損することもあり、システムの機能に重大な影響を与えるので注意する。特に重要な沈下計、傾斜計は複数台設置することが望ましい。また、状況によっては計測信号に雑音が入って計測精度が著しく損なわれることがあるので、このような場合には、充分な精度まで雑音を除いてから初期値を設定する必要がある。

表－2.1　標準計測機器

計器		配置台数	配置位置	測定範囲	必要度	備考
躯体位置・姿勢管理	1.沈下計	2	躯体大端	0～5000 mm	◎	・複数台設置する。 ・各ロットに1～数回の盛替要。
	2.傾斜計	4	躯体内	±120′	◎	・各方向複数台設置する。 ・原則として埋殺し方式とする。
躯体に作用する外力の管理	3.刃口反力計	4	刃口	0～20 kgf/cm^2	○	・底面地盤状況の把握に役立つ。 ・地盤条件によっては、測定範囲に比較的余裕のある計器を選定する。
	4.周面摩擦計	2	外壁面	±2 kgf/cm^2	○	・設置位置については、地盤条件により検討する。 ・地盤条件によっては、測定範囲に比較的余裕のある計器を選定する。
	5.土圧計	2	外壁面	0～10 kgf/cm^2	△	・周辺状況の観測に利用。 ・施工条件により必要となる。
	6.水圧計	2	内外壁面	0～10 kgf/cm^2	△	・周辺状況の観測に利用。 ・ボイリング防止に利用。 ・施工条件により必要となる。
圧入機器の管理	7.油圧計	ジャッキ台数	油圧ユニット	0～500 kgf/cm^2	◎	・油圧パワーユニットに付属。
	8.盛替指示表示計	ジャッキ台数	圧入ジャッキ	ON/OFF	○	・圧入ジャッキに付属。
	9.収縮完了表示計	ジャッキ台数	油圧ユニット	ON/OFF	○	・油圧パワーユニットに付属。

◎：システムの機能上必要である。
○：施工上有用なので、原則的に設置する。
△：施工条件を考慮の上、必要に応じ設置する。

２．１．３　制御機器および作動機器

制御機器は、精密な電子部品で構成されているため、風雨および塵埃の影響を受けない場所に設置し、適宜清掃を行う。

各構成機器について、以下に概説する。

１）制御盤

①制御パネル

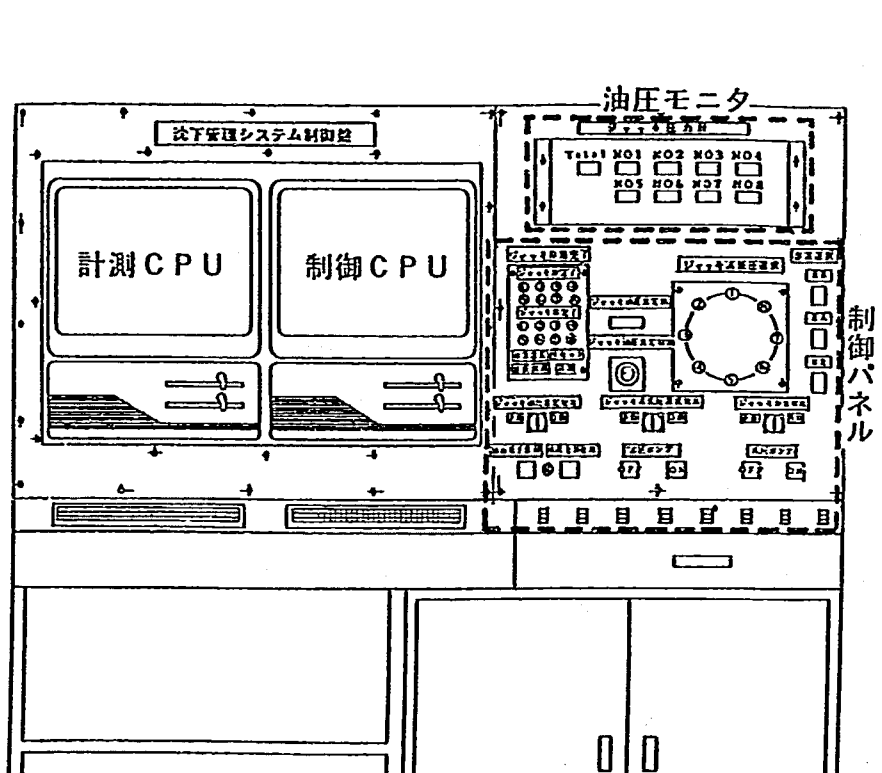
②シーケンサ

③油圧モニター

④制御CPU（パソコン）

⑤計測CPU（パソコン）

より構成される。



図－２．２　制御盤

①制御パネルは、システムを操作する為に必要なスイッチと、その作動状況を表示するランプ類から構成される。

・ポンプ運転スイッチ

油圧ポンプの運転、停止のスイッチ。

高圧ポンプの運転／停止

低圧ポンプの運転／停止

・作業選択スイッチ

各作業モードの切換を行うスイッチ。

圧入／（修正）／緊張／盛替／掘削

・自動、手動切換スイッチ

各操作について自動制御と手動制御を切換えるスイッチ。

ジャッキ油圧　　自動／手動

ジャッキ高低圧選択　　自動／手動

ジャッキ伸縮　　自動／手動

・ジャッキ油圧手動設定器

・ジャッキ高低圧選択スイッチ

・ジャッキ伸縮スイッチ

②シーケンサは、制御盤の中心的機能を果たし、制御パネル上の各スイッチや、制御CPUの指令をCR伝送信号に変換して油圧ユニット盤へ伝送する。

③油圧モニタ制御盤パネル上には、油圧計で計測された値をディジタル表示するモニターが設置されている。このモニターは各油圧ジャッキの油圧（8ch）と、総圧入力の表示ができる。また、表示値を電圧変換して計測CPUへ伝送する機能も有する。

④制御CPU（パソコン）は、制御サイクルを実行するが、i486DX2、40MHzと同等以上のものを用いる。

a）RS-232Cポート3ch（標準装備のものを含む。）

・計測CPUとの入出力ポート

・シーケンサ入出力ポート

・掘削揚土システムへの出力ポート

b）拡張メモリ

c）ハードディスク（管理データ保存用）

d）プリンタ（圧入管理日報出力用、LIPSⅢ規格対応）

⑤計測CPU（パソコン）として使用するパソコンは、制御CPUと同等とする。
必要とする主な周辺機器を以下に示す。

a）A/D変換入力ポート

・A/D変換入力３２ch

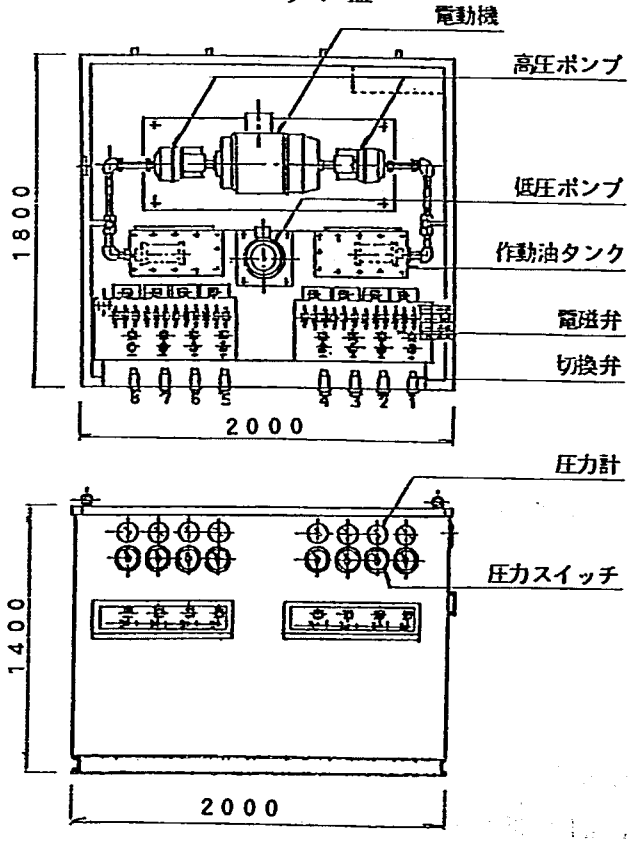
b）ＲＳ－２３２Ｃポート１ch（標準ポートで可）

・ＲＳ－２３２Ｃポート１チャンネル（制御CPUとの入出力ポート）

２）油圧パワーユニット

油圧パワーユニットは圧入ジャッキへの油圧動力の供給源であり、

・電動機
・高圧ポンプ
・低圧ポンプ
・作動油タンク
・各回路用圧力制御電磁弁
・各回路用電磁方向切換弁
・圧力計
・圧力スイッチ
・ユニット盤



高圧ポンプ能力	550kg/cm^2	3.7l/min ×８口
低圧ポンプ能力	150kg/cm^2	4.8l/min ×１口
作動油タンク容量	600l	

図－２.３　油圧パワーユニット

より構成されている。

高圧ポンプにはマルチフローポンプを用いており、各油圧系統をそれぞれ独立して制御できる構造になっている。

各回路用圧力制御弁は、それぞれの回路内の圧力が設定圧以上になると、その回路を作動油タンクに短絡して圧力を制御する。

ユニット盤は、制御盤内シーケンサより送られてくる信号を、油圧ユニット内の各アクチュエータに適した信号、動力に変換するリレースイッチ盤である。

3）圧入ジャッキ

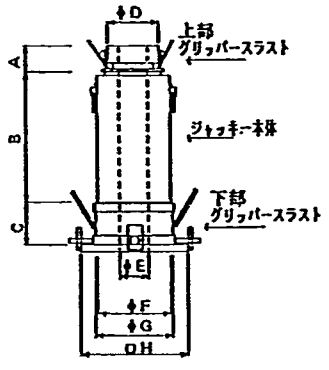
油圧ジャッキは、

・直線往復形（単動式、複動式、差動式）

・揺動形

等に分類され、圧入ジャッキとしては直線往復形ジャッキのうち、単動式あるいは複動式のものが用いられる。

複動式ジャッキのうち、センターホールジャッキには、ケーソンの圧入専用に開発されたグリッパーロッド形式と呼ばれるジャッキがあり、自動沈下管理システムの適用に適している。



呼　名	能力 (t)	ストローク (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	グリッパースラスト (kg)	ジャッキ (kg)	合計 (kg)
JOY−120	100	350	110	570	220	215	120	300	360	490	187	285	472
JOY−200	180	500	140	810	270	315	170	490	490	500	480	760	1,240
JOY−300	240	500	155	810	275	355	200	495	495	660	555	855	1,410
JOY−350	300	550	190	868	320	355	220	540	560	660	555	980	1,535

図－2．4　圧入用グリッパーロッド式センターホールジャッキ

直線往復形ジャッキのストロークは有限であるため、圧入時にジャッキの盛替が必要となる。グリッパーロッド形式のセンターホールジャッキの場合、ジャッキの盛替長は表－２．２に示す通りである。

表－２．２　グリッパーロッド盛替長

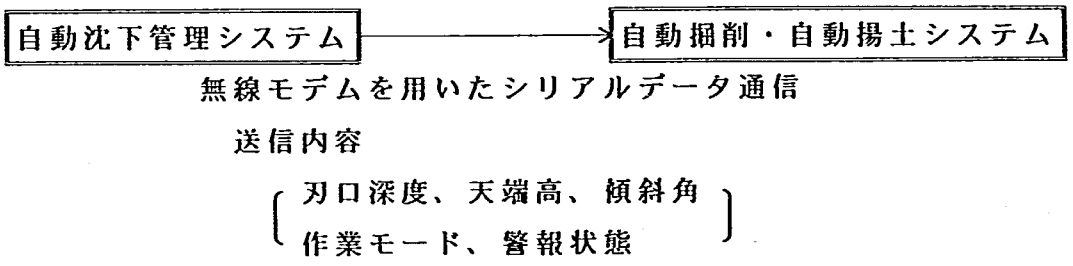
圧入ジャッキ能力 (tf)	ジャッキストローク (mm)	ロッド盛替長 (mm)
120	350	250
200　300	500	370
350	500	410

グリッパーロッド形式の場合、盛替は上部グリッパーと下部グリッパーの自動的掴み替えによって行われるため、自動沈下管理システムでは、制御盤で盛替モードにするだけで盛替は実行できる。しかしながら、グラウンドアンカーの遊びや、圧入ジャッキに付着した掘削土砂等の影響によって、自動的に掴み換えができない場合もあり得るので、盛替作業が完全に行われたかどうかを確認する必要がある。

２．１．４　自動掘削・自動揚土システムとの連携機能

自動沈下管理システムは、沈下量、傾斜量等の情報を自動掘削・自動揚土システムへ伝達する機能を装備している。

自動掘削・自動揚土システムの制御機能は、回転走行する橋形クレーン上におかれているため、無線モデムを介して送信することを標準としている。



図－２．５　データ伝送システム概要

データの送信は、沈下管理のサイクルにあわせて毎秒１回行い、ASCII形式５１バイトのデータを、２４００bpsで伝送した。受信側については、データの必要なときに読みとり、それ以外の場合にはデータを破棄する方式とした。

2．2　ソフトウェア構成

2．2．1　システム構成

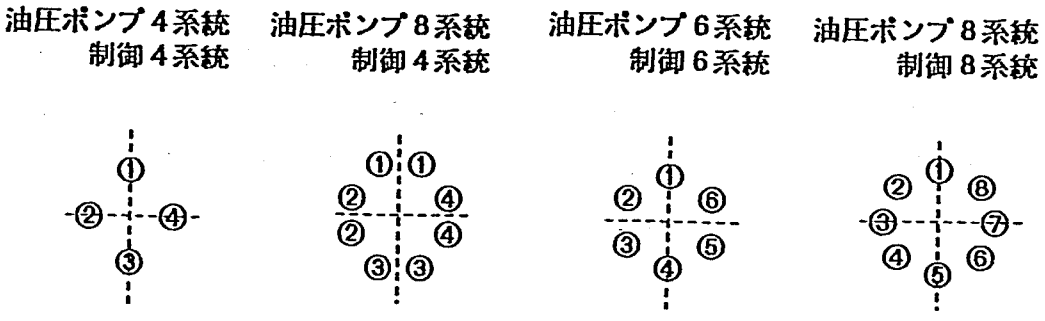
自動沈下管理システムは、開発の際に汎用化を目指したため、以下に示す条件を設けてシステムを構築した。

①ケーソン平面形状 …… 円形

②油圧制御系統

次の各パターンに対応している。

・油圧ポンプ４系統、制御４系統
・油圧ポンプ８系統、制御４系統
・油圧ポンプ６系統、制御６系統
・油圧ポンプ８系統、制御８系統



図－２．６　油圧制御系統パターン

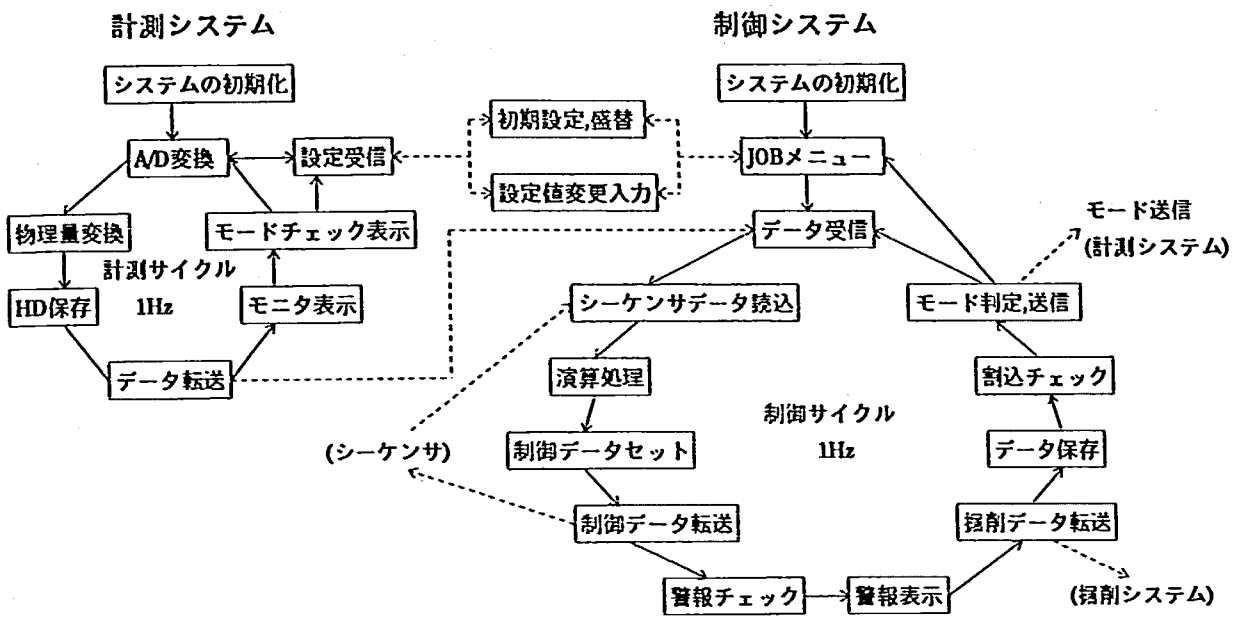
本システムのソフトウェアは次の２つから構成される。

①計測機器から得られたデータを表示、記録し、整理した結果を制御システムへ伝送するソフトウェア。・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・（計測ソフト）

②制御盤に附属し、計測されたデータを基にシーケンサを介して油圧ユニット、油圧ジャッキへ制御指令を出すソフトウェア。・・・・・・・・・（制御ソフト）

以下、２つのソフトウェアの基本的構成について簡単に記す。

本システムは、図－２．７の状態遷移図に示すように、計測サイクルと制御サイクルによって構築される。各サイクル内におけるシステムの動作は、制御パネルによって設定される動作モードによって決定される。システムの動作モードを以下に列記する。



図－２．７　システム状態遷移図

①圧入モード

ケーソンの姿勢を制御しながら圧入するために、自動沈下管理システムが圧入ジャッキを制御している状態。

①'修正モード

圧入モードのうち、特定のジャッキに油圧が集中するのを防止するため、高圧ジャッキの油圧系統を互いに連結した状態。

②緊張モード

圧入開始時、盛替終了後等に、グラウンドアンカーの弛み、圧入ジャッキの遊びを取るために低圧でジャッキを伸ばしている状態。

③盛替モード

ジャッキがストロークの限界まで伸びたときに、次の圧入を行うため盛替を行っている状態。

④掘削モード

掘削システムが底面地盤の掘削を行っている状態。自動沈下管理システムは異常沈下等が生起しないよう監視を行うとともに、自動掘削・自動揚土システムへその情報を伝送する。

⑤待機モード

上記①～④に該当しない場合。姿勢制御システムは異常沈下が生起しないよう監視する。

2．2．2　沈下および姿勢修正の考え方

圧入式オープンケーソンの圧入時における鉛直方向力の釣合は、一般に式（2．1）のように表すことができる。

$$\underbrace{P_W+P_J}_{\text{沈下力}} \geqq \underbrace{R_F+R_R+R_U}_{\text{沈下抵抗力}} \qquad \text{式（2．1）}$$

P_W：躯体自重　　（tf）

P_J　：ジャッキ圧入力　（〃）

R_F　：周面摩擦力　　（〃）

R_R　：刃口反力　　（〃）

R_U：浮力　　（〃）

また、姿勢修正が行われるときのモーメントの釣合を考えると、式（2．2）のように表すことができよう。

$$M_W+M_J \geqq M_F+M_R+M_U+M_E \qquad \text{式（2．2）}$$

M_W：躯体自重モーメント　　（tf・m）

M_J　：ジャッキ圧入モーメント　（〃）

M_F：周面摩擦力モーメント　（〃）

M_R：刃口反力モーメント　　（〃）

M_U：水圧モーメント　　（〃）

M_E：周面土圧モーメント　　（〃）

角田らは、圧入式ケーソンの姿勢修正に関して、地盤を一様な地盤反力係数をもった弾性体とみなし、地盤の弾性変形によって姿勢を修正するとした。

本システムでは、圧入式ケーソンの姿勢制御を自動化するにあたって、ケーソンの沈設時の運動を連続的にとらえ、運動式（2．3）と角運動式（2．4）から圧入モーメントの算定式を導出した。

$$P_T = P_W+P_J - R_F+R_R+R_U = m\frac{d^2z}{dt^2} \qquad \text{式（2．3）}$$

$$M_T = M_W+M_J - M_F+M_R+M_U+M_E = I\frac{d^2\theta}{dt^2} \qquad \text{式（2．4）}$$

P_T :躯体に作用する全外力　　(tf)

M_T:躯体に作用する全外力モーメント　(tf·m)

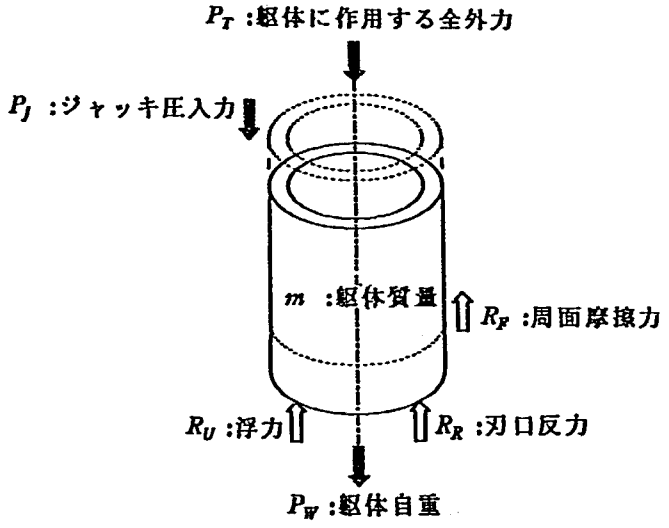
m :躯体質量　　(tf)

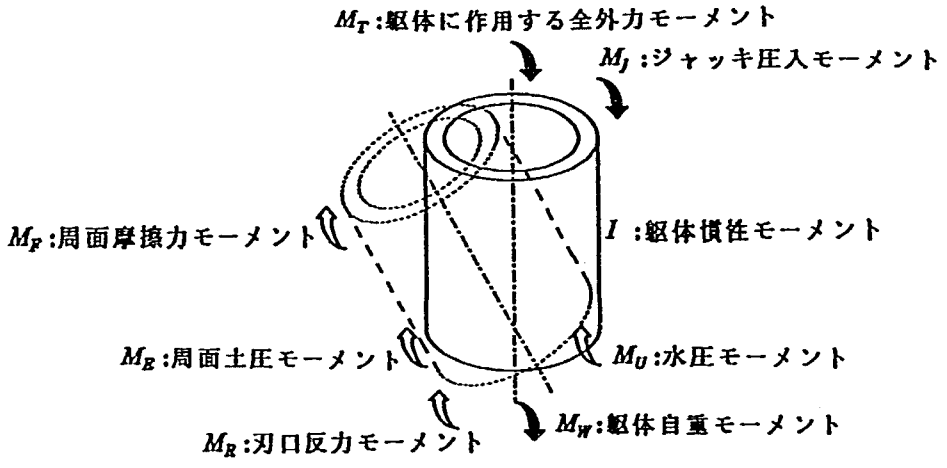
z :沈下量　　(m)

t :圧入時間　　(sec)

I :姿勢修正の回転軸に関する躯体慣性モーメント　(tf·m²)

θ :躯体傾斜　　(rad)





ここで、 $\frac{dz}{dt} \to 0$ かつ $\frac{d\theta}{dt} \to 0$ となる微小時間 dt において、

$$\frac{d\theta}{dt}\Big/\frac{dz}{dt} \fallingdotseq \frac{d^2\theta}{dz^2}\Big/\frac{d^2\theta}{dz^2} \qquad \text{式（2.5）}$$

であることより、

$$\frac{M_T}{P_T}=\frac{I}{m}\frac{d\theta}{dz} \qquad \text{式（2.6）}$$

また、

$$\frac{M_T}{P_T} \fallingdotseq a_k\frac{M_J}{P_J} \qquad \text{式（2.7）}$$

と仮定すれば、

$$M_J = P_J \cdot a_k \cdot \frac{I}{m} \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta z} \qquad \text{式（2.8）}$$

のように表すことができる。

実際には、刃口部地盤の塑性破壊が局所的に生じることにより姿勢修正が逐次行われると考えた方が、実現象に近いと思われるため、今後のデータの蓄積によってその整合を図る必要がある。

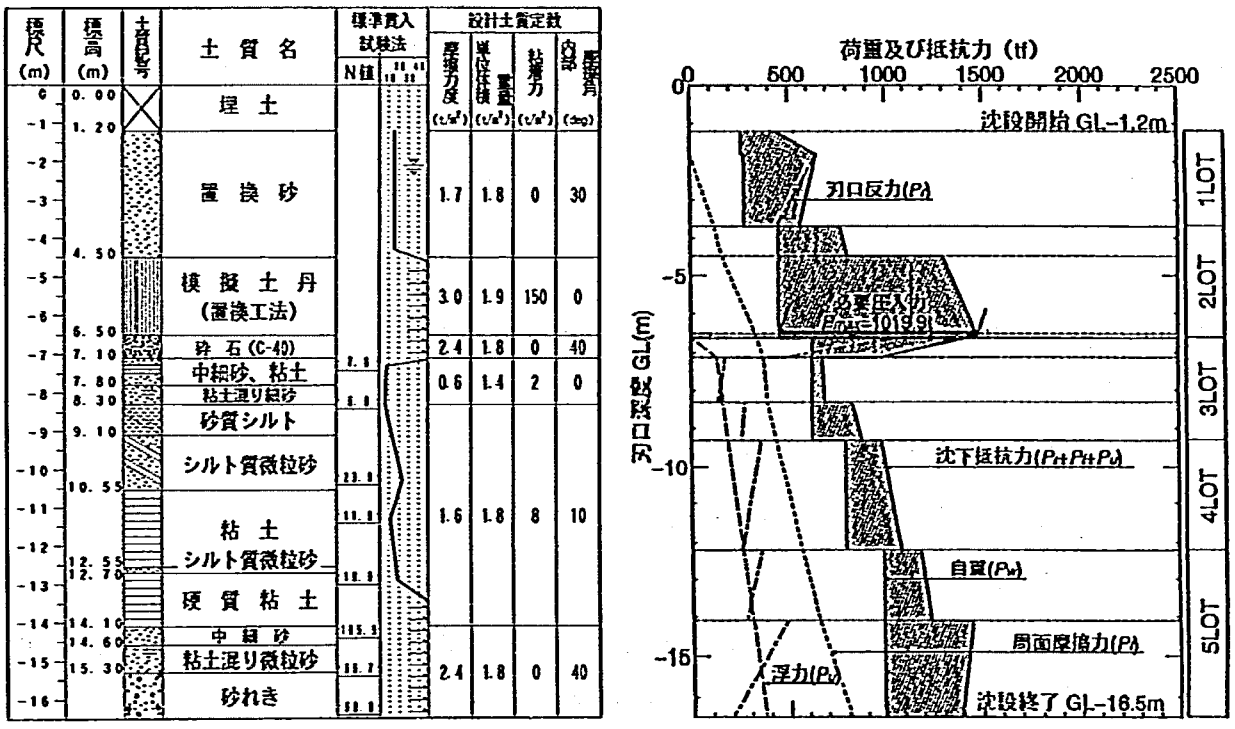
また、圧入力に関しては、式（3.1）で表される釣合を満足するための方法として、沈下速度 v_z（$= \frac{dz}{dt}$）を観測し、沈下速度 v_z が設定値（最適沈下速度） v_{opt} 以上になった場合には圧入力を下げ、設定値以下の場合には圧入力を上げる方法を採用している。

3．圧入設計

3．1　圧入力の設計

圧入力の設計は、圧入時のケーソンの鉛直方向力の釣合を求めた式（2．1）によって行われるのが一般的である。

具体的には、図－3．1に示すような沈下関係図を作成して行う。



図－3．1　設計沈下関係図作成例

ただし、

①圧入力が不足した場合、施工を続けることが不可能になる可能性があること。

②全圧入ジャッキを高圧にして圧入を行わなければならない場合、圧入モーメントを発生させることができないため、姿勢制御が不可能になること。

③沈下抵抗力の予測精度が低いこと。

等を考慮し、充分な余裕を持った圧入力の設計を行うことが重要である。

3．2　沈下抵抗力の評価

沈下抵抗力は、周面摩擦力 R_F、刃口反力 R_R、および浮力 R_Uの合力として表される。このうち、周面摩擦力と刃口反力については以前より多くの議論がなされてきたところではあるが、実際の施工時に作用する荷重を推定することは難しい。

3．2．1　周面摩擦力

周面摩擦力の計算は、一般に式（3．1）によって行われる。

$$R_F=\sum(q_F A_F) \qquad \text{式（3．1）}$$

R_F :周面摩擦力　(tf)

q_F :各土層における周面摩擦力度（tf/m²;単位面積あたりの周面摩擦力）

A_F :各土層における周面接地面積（m²）

設計段階における周面摩擦力度の値については「道路橋示方書Ⅳ下部構造編」（以下、道示Ⅳ）には、表－3．1に示す数値が記載されている。

表－3．1　道示Ⅳの周面摩擦力度

（単位：tf/m²）

ケーソンの深さ ＼ 土質	8m	16m	25m	30m	40m
粘性土	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
砂質土	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4
砂れき	2.2	2.4	2.7	2.9	3.1

ただし、道示Ⅳではこの表とともに「過去の実績からまとめると表のようになる。この値は過去のデータより、ケーソンの傾斜が僅少で、フリクションカットが取付いている、刃先抵抗は全くないという条件を満たす比較的沈下状況のよい場合についてまとめたものであり、実情に応じて修正を施す必要がある。」との解説が記載されている。一方、自動化オープンケーソン工法（SOCS）では、先行圧入を原則としていることから、刃先抵抗（刃口反力）がないという条件は成立せず、ジャッキによる圧入という条件も道示Ⅳの解説の条件とは異なる。

また、その他の文献、基準類にもケーソンの周面摩擦力度の測定値あるいは設計上の推奨値等が示されているものは多く、そのうちの数例をまとめてみると表－３．２、表－３．３のように表される。

表－３．２　ケーソンの深度と土質を考慮した周面摩擦力度

（単位：tf/m²）

ケーソン深さ / 土質	8m	16m	25m	30m	40m
シルト	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7
よく締まったシルト	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0
よく締まった砂	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2
礫混じり砂	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4
砂混じり礫	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6
よく締まった砂礫	2.2	2.4	2.7	2.9	3.1

＊「アースアンカーによる圧入工法の設計と施工」（オーム社）
＊＊「杭と井筒の設計と施工（後編）」（工学出版）　より

表－３．３　各基準、文献に記載のケーソン周面摩擦力度

（単位：tf/m²）

土質	道示Ⅳ	阪高圧入指針	角田 後藤	土木工学ハンドブック	土質基礎ライブラリ
粘土	0.5～1.0	3.0	---	5.0～20.0	1.7～2.2
シルト			0.2～0.7	---	
よく締まったシルト			0.5～1.0	---	
よく締まった砂	1.4～2.4	3.0	1.2～2.2	3.5～7.0	2.5～3.0
礫混じり砂			1.4～2.4	---	
砂混じり礫	2.2～3.1	10.0	1.7～2.6	---	3.0～5.0
よく締まった砂礫			2.2～3.1	5.0～10.0	

表－３．３にあげた周面摩擦力度の値のうち阪高圧入指針のみが圧入式ケーソンの測定値をまとめたものであり、その他は圧入式でないオープンケーソンあるいはニューマチックケーソンにおける実測値をまとめたものである。

すなわち、

①従来のデータは、主にニューマチックケーソンあるいは圧入を行わないオープンケーソン工法における測定結果をまとめたものが多いこと。

②圧入式ケーソンの場合は、圧入を行わないケーソンと比較して、フリクションカッタを用いることが多いこと。

③圧入式ケーソンの場合、圧入力の載荷は連続的に行われ、ケーソンの沈下も比較的連続的に（静的に）行われることが多いこと。

等、さまざまな条件により、圧入式ケーソンの場合には、圧入式でないケーソンよりも大きな周面摩擦力が作用することが多いので注意が必要である。

周面摩擦低減工については、現在までに定量的に周面摩擦力の低減効果を評価した例は少ない。その中で阪高圧入指針に、ＮＦシートとジェッティングを併用した場合についての計測結果が参照値として記されているので、表－３．４に示す。

表－３．４　周面摩擦低減工を用いた場合の周面摩擦力度低減効果
ＮＦシート+ジェッティング併用の場合

深　さ (m)	周面摩擦力度 (tf/m^2)
0～ 5	0.5
5～10	1.0
10～15	1.5
15～	2.0

ただし、表－３．４の適用範囲は、深度２０m程度までと考えられるので、大深度に対応するためには、別途検討が必要である。実際の計算例では、

・ＮＦシートのみの摩擦低減効果 …… ２０％

・ジェッティングのみの摩擦低減効果（阪高圧入指針に記載有） … ２０％

・ＮＦシートとジェッティングの組合せによる摩擦低減効果 …… ３０％

とする例が多い。

なお、その他の周面摩擦低減工法についても、低減効果に関しては慎重に検討する必要がある。また、表－３．２等に示されている周面摩擦力度の値はフリクションカッタを設置していることを条件としているものがほとんどなので注意する必要がある。さらに、地盤条件によってはフリクションカッタの周面摩擦力が卓越するような場合もあると考えられるため、フリクションカッタの形状（高さ、厚さ、段数等）についても、慎重な検討をされたい。

周面摩擦力度の実測値が、粘着力とよく一致しているという報告もあるが、外周の土のせん断強度とは関係なく刃口部の形状、掘削方法、躯体の大きさによって決まるとする報告もあり、現状では考え方が統一されていない。

以上のように、周面摩擦力度の評価法は各種提案されているが、精度の高い推定を行うことが非常に困難であるというのが実状である。特に、周面摩擦力を過小評価してしまうと施工が困難になることもあり得るため、周面摩擦力の推定を行うにあたっては、慎重な検討を行うことが必要である。

3．2．2　刃口反力

刃口反力の算定は、一般に式（3．2）によって行われる。

$$R_R=q_R A_R \qquad \text{式（3．2）}$$

R_R：刃口反力　　（tf）

q_R：刃口反力度　　（tf/m²；単位面積あたりの刃口反力）

A_R：刃口接地投影面積　（m²）

道示Ⅳには、「ケーソンの刃先抵抗（刃口反力）は完全に刃先を掘削していればないはずであるが、往々にして残ることがある。しかし、掘削により地盤がゆるめられているので、1tf/m²程度を見込めば十分である。しかし、ケーソンが傾斜するとかなり大きくなる。」と記述されているが、自動化オープンケーソン工法（SOCS）の施工においては、先行圧入を原則としており、刃先を完全に掘削するという可能性がほとんどないため、式（3．2）により刃口反力を求めることとした。

刃口反力度の推定には、帯状基礎の極限支持力式を用いることが多い。

例えば、Terzaghiによる帯状基礎の極限支持力式は式（3．3）のように表される。

$$q_R = cN_c + 0.5\gamma_1 BN_\gamma + \gamma_2 D_f N_q \qquad \text{式（3．3）}$$

q_R：刃口反力度　　（tf/m²）

c　：刃先より下の土の粘着力　　（tf）

γ_1：刃先より下の土の単位体積重量　（t/m³）

γ_2：刃先より上の土の単位体積重量　（t/m³）

B　：接地幅　　（m）

D_f：刃先貫入量　　（m）

阪高圧入指針においては、接地幅 B を壁厚の５０％程度として、Terzaghiの式、あるいは日本道路公団設計要領の式、を準用することを推奨している。

また、角田らはケーソン刃先下地盤掘削形状を考慮してTerzaghiの式を補正し、式（3．4）を与えた。

$$q_R = k_c cN_c + 0.5k_\gamma \gamma_1 BN_\gamma + \gamma_2 D_f N_q \qquad \text{式（3．4）}$$

k_c，k_γ：地盤の傾斜を考慮した支持力低減係数

その他、Meyerhof、日本道路公団等の斜面上の浅い（直接）基礎の支持力式あるいはFellenius法等の分割細片法等を適用しても同様の計算は可能であるが、作業の状況によっては各式での計算値よりも大きな刃口反力度が得られる可能性がある。また、刃先部分の掘削状況によって接地面積が大きく変化し、圧入力が過大になる可能性があるので注意が必要である。

また、自動掘削・自動揚土システムを併用する場合、刃先貫入量 D_f 等底面地盤の掘

削形状が限定されるため、掘削断面パターンの管理幅より算出される先行圧入量を見込んだ刃口反力を圧入計算に用いるとよい。

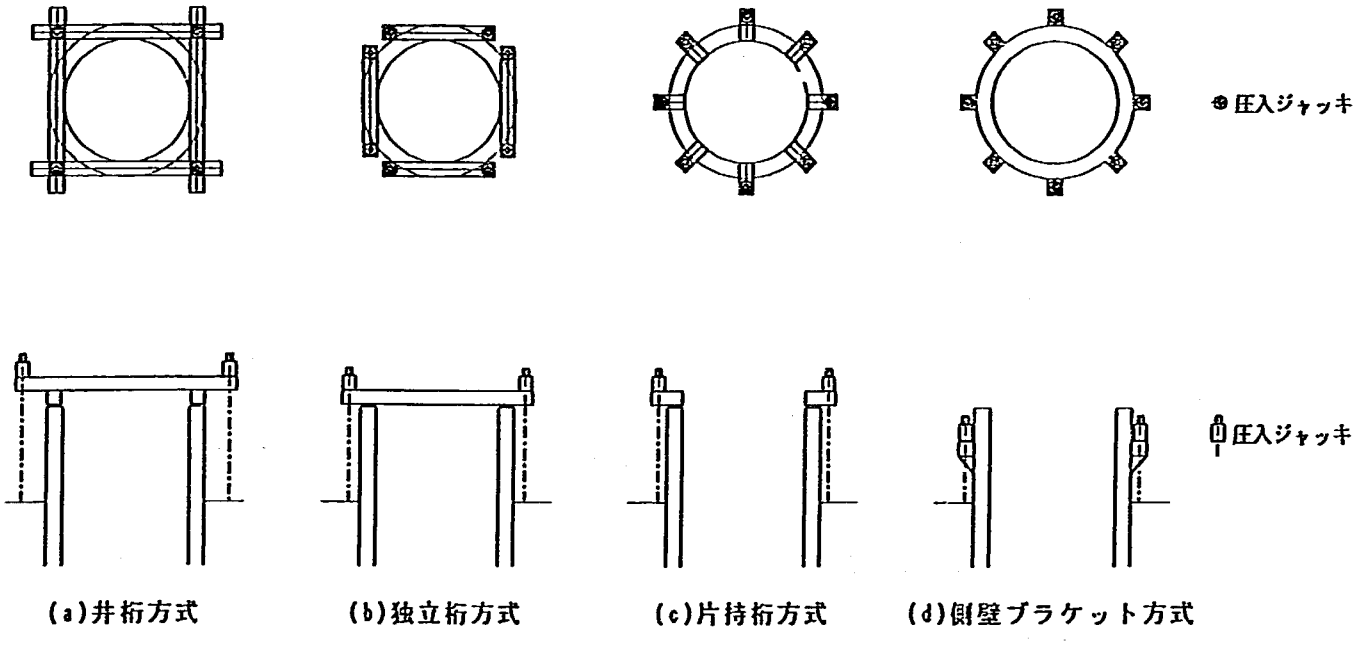
3．3　圧入反力工の設計

3．3．1　反力架構

反力架構は、圧入力および圧入モーメントを充分躯体に伝達できるように設計、設置する。

反力架構の形式は各種考えられるが、設計上最大の圧入力を載荷した場合でも確実に圧入力を躯体に伝達できるよう設計、設置する必要がある。また、沈下管理システムの姿勢制御機能を充分に活用するため、圧入モーメントを充分に作用させ得るような反力架構を設置することが望ましい。よって、各ジャッキの独立性を高めた桁配置を用いた方法が有効である。また、各ジャッキ（あるいはジャッキ群）の載荷重心が、ケーソン外周に均等に配置することを原則とする。

図－3．2に反力架構と圧入ジャッキの配置例を示す。それぞれの特徴をよく認識して、施工条件に適合した方式を選択されたい。



図－3．2　反力架構配置例

反力架構は、一般には曲げとせん断を受ける桁として設計する。ただし、圧入ジャッキの載荷点、および支点近傍は複雑な応力状態となるため、道示Ⅱ「8章プレートガーダー」および「8．7 荷重集中点の構造」等を参考に補剛材を設ける必要がある。

また、躯体の支圧部についても、道示Ⅲ「3．1．2 局部的載荷の場合のコンクリートの支圧応力度」等を参考にして支圧応力度、せん断応力度を計算し、鉄筋による補強等を行う必要がある。また、打設後充分な時間の経過しないうちに圧入力を載荷することも考慮した設計を行う必要がある。

なお、図－3．2(a)、(b)の形式のように躯体に固定しなくとも圧入力を伝達できる構造形式も存在するが、不均等載荷時などに備えて躯体と桁を緊結しておく必要がある。また、躯体天端に圧入桁を設置する形式の場合、鉄筋あるいはＰＣ鋼棒等と圧入桁が干渉しないよう事前に計画しておく。躯体と圧入桁を緊結するために、ＰＣ鋼棒を用いることも有効である。

3．3．2 グラウンドアンカー

グラウンドアンカーは、圧入反力を地盤に伝達するために設置される。基本的には、「土質工学会;グラウンドアンカー設計施工基準,同解説」等にしたがって設計、施工するが、工法の性質上繰返し大きな荷重が作用することなど、作業環境、地盤条件、打設方向等、同基準の記載条件と異なる部分があることを充分考慮の上、所定の反力を確実に得られる設備を設計、施工しなければならない。

グラウンドアンカーの平面配置は、設計圧入力とアンカーの許容荷重、および使用する圧入ジャッキ等により決定されるが、アンカー同士の間隔が小さくなると互いのアンカーの群効果により所定の反力を得られないことがあるので注意する。

また、特に長尺のアンカーにおいて、アンカーが傾いて施工された場合、ケーソンと干渉する場合も考えられるため、精度よく施工することが重要である。

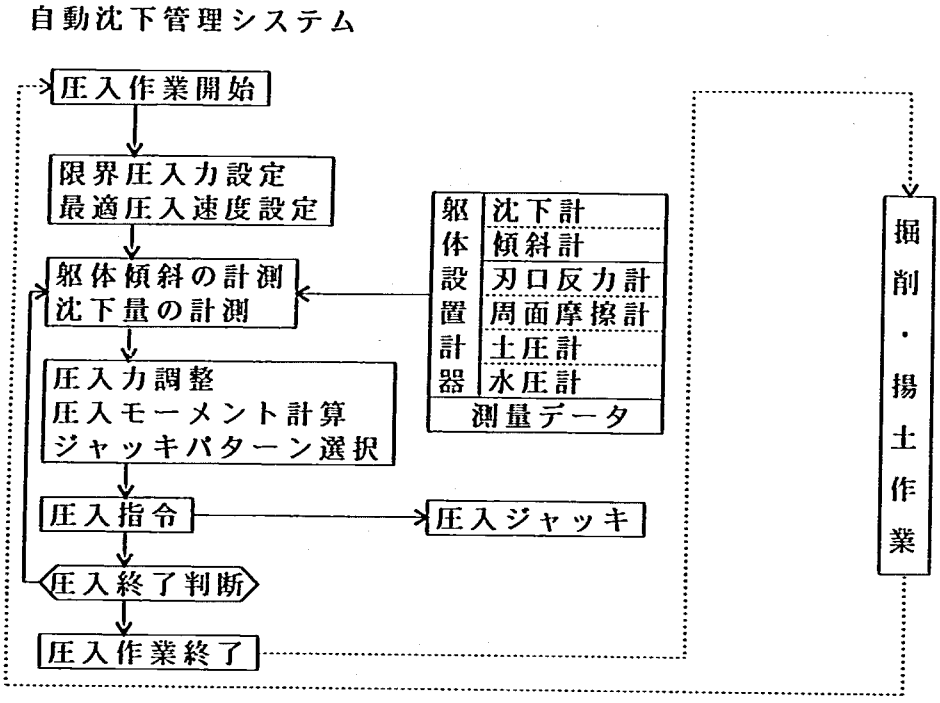
アンカー1本あたりの許容圧入力は、経済性に優るという理由で高強度のものが採用される傾向があり、実績としては３００ｔ以上の例も報告されている。しかしながら、標準的な削孔径でアンカー体と地盤の許容周面摩擦力、テンドンとグラウトの許容付着力を考慮すると、過大なアンカー力を期待することは危険である。やむを得ず高強度のアンカーを設計する場合についても、地盤条件を充分調査し精度よい施工を行うとともに、削孔径等にも充分余裕を持たせた設計を行うことが望ましい。

また、圧入式オープンケーソンにおいては、圧入力を確実に躯体に伝達するため、躯体に近接してアンカーを設置することが多く、アンカー定着部は刃口先端以深とするのが一般的であるため、アンカー自由長も非常に長くなることが多い。このことからも、アンカーの強度確保は非常に重要であり、適性試験、確認試験等を行って耐力を確認することが必要となる。

4．沈設管理

4．1　標準沈設作業フロー

自動化オープンケーソン工法（SOCS）自動沈下管理システムを用いた標準的な沈設作業のフローを図－4．1に示す。



図－4．1　標準沈設作業フロー図

4．2　自動沈下管理システムによる沈設管理

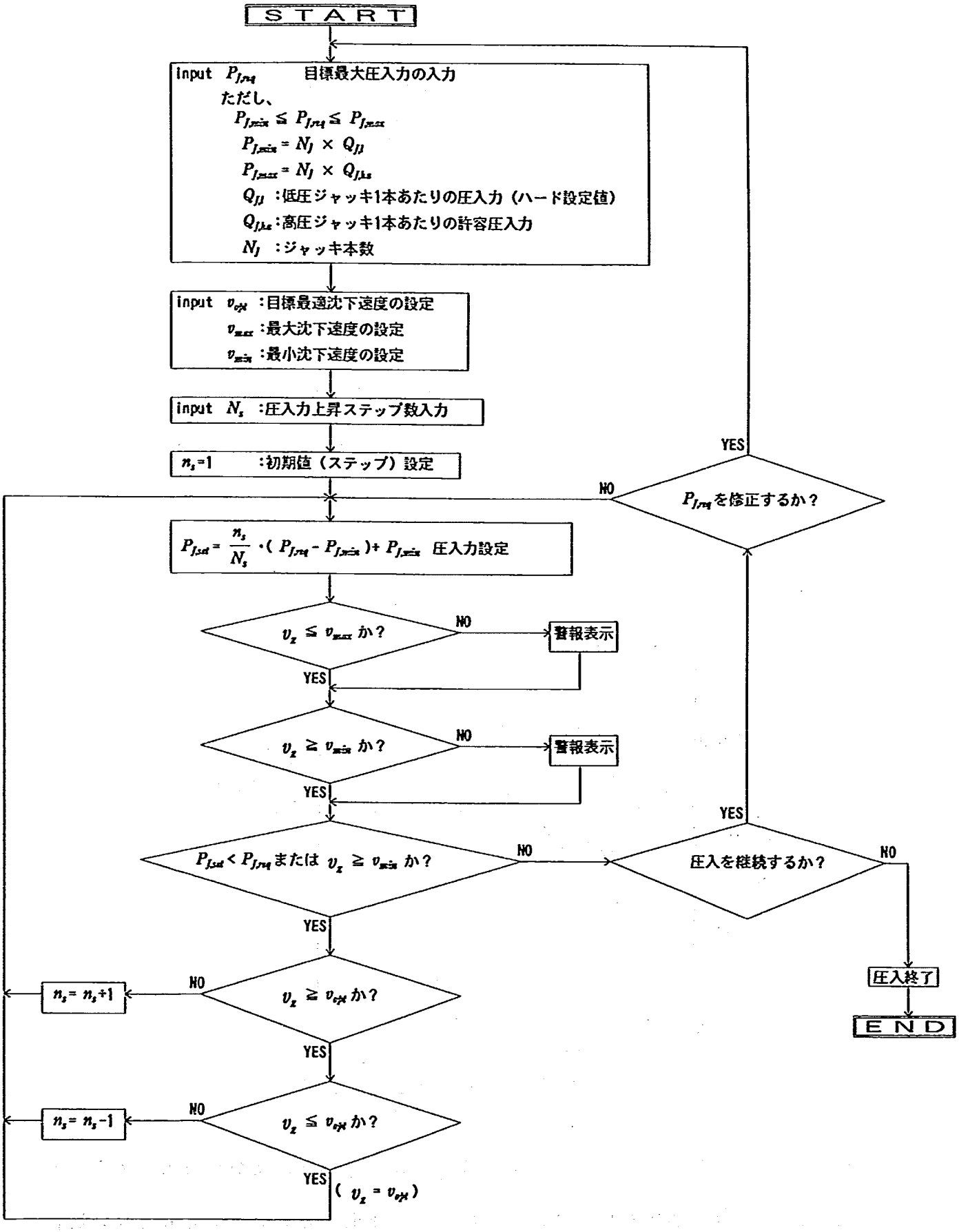
自動沈下管理システムを用いた沈設管理手法について述べる。

4．2．1　沈設パラメータの設定

本自動沈下管理システムを用いた圧入管理のフローを図－4．2に示す。このように、本システムを、実際のケーソンの沈設に用いるためには、限界圧入力など各種のパラメータを準備する必要がある。

沈設時に設定する各パラメータの設定法について、以下に簡単に説明する。

なお、本システムでは各種パラメータを変更した後に各種パラメータの設定値の印刷の可否を入力するようにプログラムされているため、変更後は必ず印刷し、保存しておくことが望ましい。


START
input P_{Jreq} 目標最大圧入力の入力
ただし、
$P_{Jmin} \leq P_{Jreq} \leq P_{Jmax}$
$P_{Jmin} = N_J \times Q_{JJ}$
$P_{Jmax} = N_J \times Q_{JJa}$
Q_{JJ} :低圧ジャッキ1本あたりの圧入力（ハード設定値）
Q_{JJa}:高圧ジャッキ1本あたりの許容圧入力
N_J :ジャッキ本数
input v_{opt} :目標最適沈下速度の設定
v_{max} :最大沈下速度の設定
v_{min} :最小沈下速度の設定
input N_s :圧入力上昇ステップ数入力
n_s=1 :初期値（ステップ）設定
$P_{Jset} = \frac{n_s}{N_s} \cdot (P_{Jreq} - P_{Jmin}) + P_{Jmin}$ 圧入力設定
$v_z \leq v_{max}$ か？
NO
警報表示
YES
$v_z \geq v_{min}$ か？
NO
警報表示
YES
$P_{Jset} < P_{Jreq}$ または $v_z \geq v_{min}$ か？
NO
YES
$v_z \geq v_{opt}$ か？
NO
$n_s = n_s + 1$
YES
$v_z \leq v_{opt}$ か？
NO
$n_s = n_s - 1$
YES
($v_z = v_{opt}$)
P_{Jreq}を修正するか？
YES
NO
圧入を継続するか？
YES
NO
圧入終了
END

図－４．２　圧入管理フロー

①最大圧入力　P_{Jyeq}　(tf)

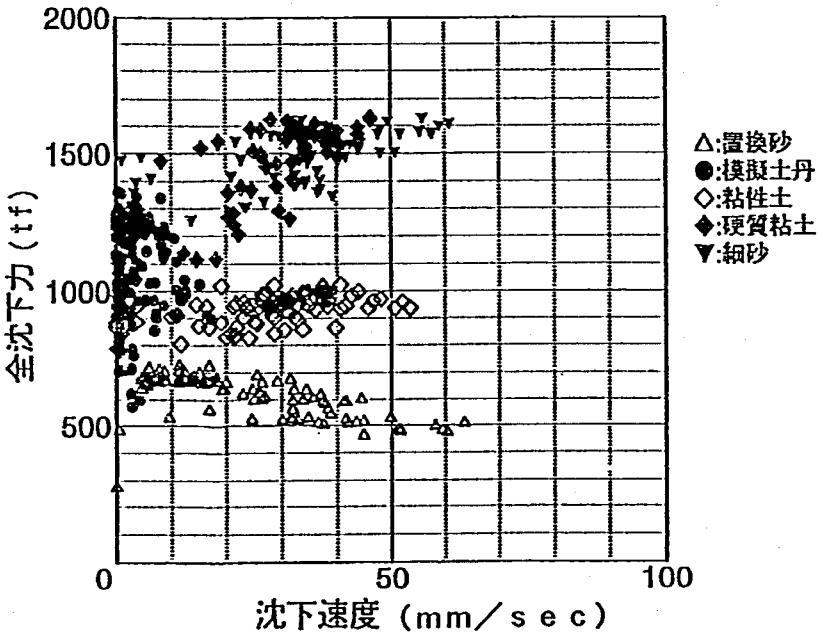
最大圧入力 P_{Jyeq} には、次サイクルの掘削を行っても自重で沈下しない充分な圧入力（先行圧入力）を設定することを原則とする。先行圧入力の計算は、事前に作成した沈下関係図を参考にし、前回までの圧入状況から適宜修正して行うものとする。ただし、圧入中においても、地盤や躯体から状況の変化に伴い変動する沈下抵抗力（刃口反力、周面摩擦力等）のデータに注目し、随時修正を行うことが必要となる。

②無偏心判定角　θ_{th}　(rad)

無偏心判定角 θ_{th} 以上の傾斜が計測された場合には圧入ジャッキにより圧入モーメントを作用させる。傾斜が θ_{th} 以下の場合には全ジャッキを高圧で均等に圧入する。

③最適沈下速度　v_{opt}　(mm/min)

本工法の実証施工実験で得られた沈下速度を 図－４．３に示す。



図－４．３　全沈下力と沈下速度

現在までに得られたデータからは、 v_{opt}＝３０mm/min程度が適当と考えられる。

なお、 v_{opt}は、油圧パワーユニットのポンプ吐出能力に対して充分でない場合には、パワーユニットに過負荷がかかるので注意する。

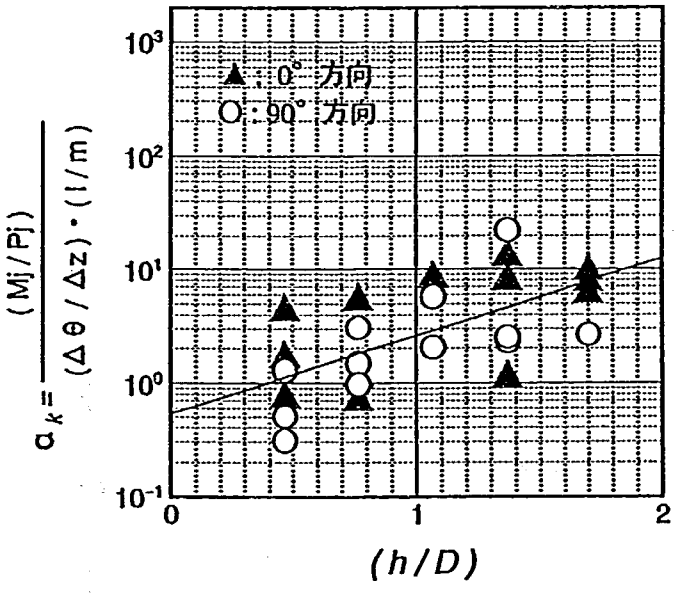
④沈下抵抗係数　α_k

全外力の偏心量と圧入力の偏心量の比を係数で表したものである。

$$\frac{M_T}{P_T} \fallingdotseq \alpha_k \frac{M_J}{P_J} \qquad \text{式（4.1）}$$

としたときの α_k である。現在までに得られたデータを無次元躯体高（躯体高さと外径の比）h/D の指数関数としてで回帰分析して近似した結果が式（4.2）である。回帰に用いたデータを図－4.4、式（4.2）によって計算した値を表－4.2に示す。

$$\alpha_k = 0.544 \cdot \exp(1.57\,(h/D)) \qquad \text{式（4.2）}$$



図－4.4　沈下抵抗係数

表－4.1　沈下抵抗係数

無次元躯体高 h/D	沈下抵抗係数 α_k
0.5	1.2
1.0	2.6
1.5	5.7
2.0	12.6
2.5	27.6
3.0	60.5

⑤躯体慣性定数　I/m

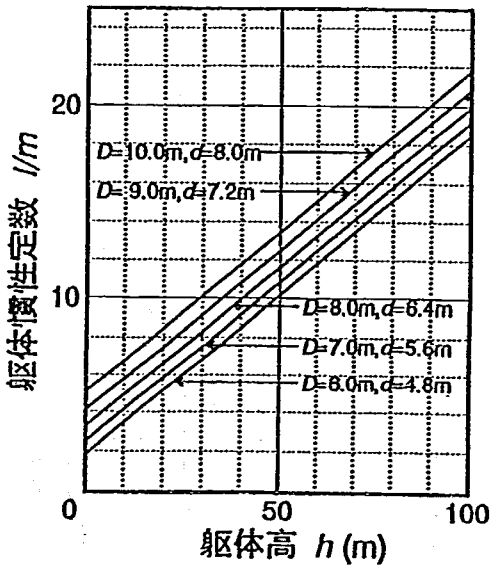
躯体の慣性に関する定数であって、回転中心に関する躯体の慣性モーメントと、躯体質量の比で表す。近似的に回転中心が刃先にあるものとし、躯体が高さ h（m）、外径 D（m）、内径 d（m）の一様な円筒と考えれば、

$$\frac{I}{m}=\frac{16h^2+3(D^2+d^2)}{96} \qquad \text{式（4.3）}$$

である。

表－4.2　躯体慣性定数

外径(m)		6.0m	7.0m	8.0m	9.0m	10.0m
内径(m)		4.8m	5.6m	6.4m	7.2m	8.0m
躯体高(m)	5m	2.7	3.3	4.1	5.0	6.0
	10m	3.5	4.2	4.9	5.8	6.8
	15m	4.3	5.0	5.8	6.7	7.6
	20m	5.2	5.8	6.6	7.5	8.5
	25m	6.0	6.7	7.4	8.3	9.3
	30m	6.8	7.5	8.3	9.2	10.1
	35m	7.7	8.3	9.1	10.0	11.0
	40m	8.5	9.2	9.9	10.8	11.8
	45m	9.3	10.0	10.8	11.7	12.6
	50m	10.2	10.8	11.6	12.5	13.5
	55m	11.0	11.7	12.4	13.3	14.3
	60m	11.8	12.5	13.3	14.2	15.1
	65m	12.7	13.3	14.1	15.0	16.0
	70m	13.5	14.2	14.9	15.8	16.8
	75m	14.3	15.0	15.8	16.7	17.6
	80m	15.2	15.8	16.6	17.5	18.5
	85m	16.0	16.7	17.4	18.3	19.3
	90m	16.8	17.5	18.3	19.2	20.1
	95m	17.7	18.3	19.1	20.0	21.0
	100m	18.5	19.2	19.9	20.8	21.8



図－4.5　躯体慣性定数

⑥修正目標沈下量　Δz　（ｍｍ）

修正目標沈下量 Δzは、1回あたりの沈設深さのうち、 Δzｍｍを修正完了目標とするパラメータである。 任意に設定する値であるが、１回の沈設の１/３程度までに修正を完了するとして、標準的には１回あたりの沈設深さの１０％～３０％程度で設定すれば充分である。

例えば、１回あたりの沈設深さを３００㎜とすれば、 Δz＝３０～９０㎜となる。

⑦油圧上昇ステップ数　$N_{J,step}$

荷重のチェックは１ｓｅｃに１回行われる。

最短１minで指令圧入力が目標圧入力に達する程度、すなわち　$N_{J,step}$＝６０程度が適当である。

⑧緊張完了油圧条件　（％）

緊張の完了を判断するための油圧実測値と設定値との比。

９５％程度を標準とする。

⑨圧入力保持条件　（％）

圧入中にアンカーの緊張状態が保たれていることを判断するための、油圧実測値と設定値との比。９０％程度を標準とする。

4．2．2　異常処理パラメータ（管理値）の設定

（圧入時）

①油圧過大

圧入時に許容値以上の油圧が測定され場合に油圧ポンプを強制的に停止する。パラメータは（指令上の最大圧）、（許容余裕圧）をそれぞれ入力して、この和で管理する。

②系統内油圧差過大

２台以上の油圧ポンプを制御上で１系統として扱った場合に、２台の油圧ポンプにおける油圧差が許容値以上になったときに強制的に停止する。

③許容最大沈下速度

圧入時の沈下速度が入力値以上になったとき警報を発する。

④許容最小沈下速度

目標最大圧入力で圧入しても、入力値以下の沈下速度でしか圧入されない場合に警報を発する。

⑤許容傾斜角

ケーソン躯体の傾斜角が入力値以上になったとき警報を発する。

（非圧入時）

⑥許容沈下量

圧入力を載荷していない状態で沈下が生じたとき警報を発する。

⑦許容傾斜角

ケーソン躯体の傾斜角が入力値以上になったとき警報を発する。

⑧許容油圧低下

非圧入時の沈下を防止するため、圧入時以外に低圧に保持していた油圧が低下したとき警報を発する。

⑨許容周面摩擦変化

急激沈下を防止するため、周面摩擦力が変化したとき警報を発する。

⑩許容刃口反力変化

急激沈下を防止するため、刃口反力が変化したとき警報を発する。

⑪許容内外水圧差

底面地盤変状を防止するため、内外の水圧差が大きくなったとき警報を発する。

4．3　各種地盤における沈設管理

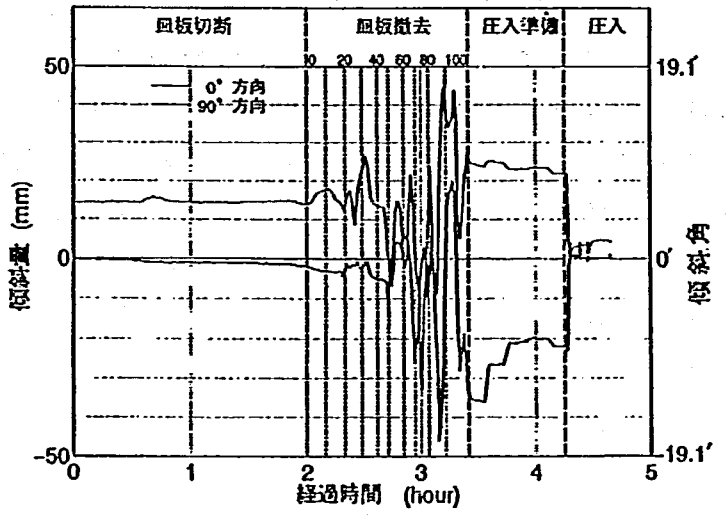
4．3．1　初期沈設

初期沈設とは、一般に沈設開始から、沈設深さがケーソン外径程度になるまでのことを表すが、この時期はケーソンの傾斜変動が激しく、沈設毎に傾斜量、沈下量が比較的大きく変動する。ケーソンは、沈設の進行に伴って安定するが、逆に位置姿勢の修正は困難となる。したがって、最終的な施工精度を確保する上で、初期沈設時の沈設管理は重要である。

1）皿板撤去

皿板撤去時は、自動沈下管理システムの計測機能をフィードバックし、ケーソンの傾斜が小さくなる方向で撤去する。据付地盤の状況にもよるが、皿板を1枚撤去する毎に大きく傾斜が変動することもあるので、できる限り迅速な対応を行うことが望ましい。また一部の皿板を残置してしまうと、沈設の障害となるので、できる限り全数撤去するべきである。

皿板の撤去完了後、直ちに、自動沈下管理システムによる圧入を行い、ケーソンの安定を確保する。圧入荷重は、徐々に増やしていくことを基本とするが、沈設前に作成した沈下関係図と、計測される沈下量、刃口反力を比較検討しながら慎重に圧入するのがよい。



図－4．6　皿板撤去時のケーソン姿勢の変化計測例

４．３．２　軟質地盤における沈設

軟質地盤の沈設時には、掘削前に先行圧入することを基本とする。圧入により、ケーソン函内の土砂は盛り上がりを生じるが、掘削機の持つ掘削断面パターンを考慮の上、刃口貫入量が適切な深さとなるように圧入を行うことが望ましい。

地盤が非常に軟弱で、掘削機の掘削可能範囲以上に刃口を貫入させないと安定しないような場合は、掘削機を用いずに電動油圧パワーグラブのみで掘削するか、適切な刃口貫入量で沈設できるような強度まで地盤改良する等の対策を検討する。

なお、電動油圧パワーグラブのみによる掘削を行った場合等は、沈設中にガイドレール式バックホウ掘削機の掘削機走行レールが土砂に埋没する可能性もあるため、その後掘削機による掘削を行う以前に、水ジェット等を用いて走行レールに堆積、付着した土砂を除去するのがよい。

また、軟弱地盤の掘削中には、内外の水位の変動に注意し、ボイリング、ヒービング等の発生とそれに起因する周辺地盤変状の発生を未然に防止しなければならない。さらに、刃口反力、周面摩擦力等の変動にも着目し、ケーソンが自重で沈下することを防止しなければならない。

各ロットの最終沈設時には、次回構築ロット重量の１．２倍以上の圧入力で載荷し、構築中の自重沈下を防止しなければならない。

４．３．３　硬質地盤における沈設

硬質地盤としては、砂礫層等の未固結地盤と、土丹等の固結地盤が考えられる。

未固結地盤の場合は、地盤の水中崩壊角を考慮し、掘削機の掘削断面パターンの中から、地盤の安定上問題のないものを選択して自動掘削を行う。

固結地盤の場合は、刃口反力が卓越するため、刃先直下を掘削する掘削断面パターンを選択し、刃口反力を低減させる必要がある。この場合、全周この掘削断面パターンで掘削を行うとケーソン躯体が急激沈下等を起こす可能性があるため、掘削平面パターンにとび掘削タイプを用いることを標準とする。

また、硬質地盤の掘削時において自重沈下を発生させてしまうと、急激沈下となり易いため注意する必要がある。

5．操作の手順と管理

5．1　制御盤操作手順

（1）始業点検

躯体に設置してある油圧ジャッキ各部、グラウンドアンカーの状態を点検する。

制御盤、油圧ユニット、油圧ユニット盤および油圧ホースを点検する。

前回の作業終了後の自重沈下等、異常が記録されていないか確認する。

（2）運転準備

外部メインブレーカ（遮断器）にて制御盤に電源を接続し、油圧ユニット盤および制御盤内の各ブレーカのスイッチを入れる。ただし、圧入時以外の異常現象を検知するため、計測CPUおよび制御CPUの電源は常時接続しておく。計測の必要がない場合はこの限りではない。

このとき、制御パネルの各スイッチは、

①低圧ポンプスイッチ …… 『OFF』

②高圧ポンプスイッチ …… 『OFF』

③④作業選択スイッチ(緊張,圧入,修正,盤替)…… 全て『OFF』（待機モード）

⑤高圧設定切替スイッチ …… 『手動』

⑥ジャッキ高低圧切替スイッチ …… 『手動』

⑦ジャッキ伸縮切替スイッチ …… 『手動』

⑧ジャッキ高低圧選択スイッチ …… 『低圧』（点灯解除）

⑨ジャッキ伸縮スイッチ(手動用) …… 『保持』（点灯）

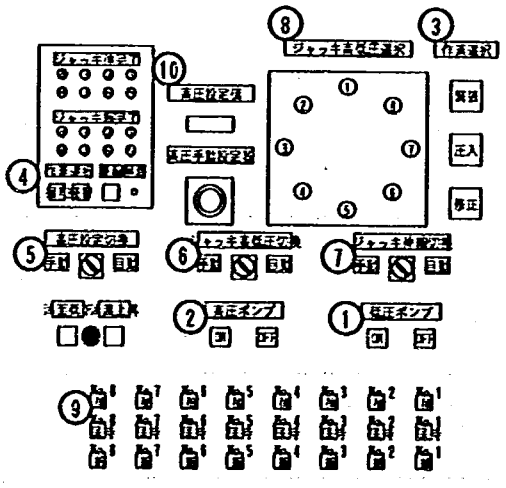
⑩高圧手動設定器 …… 『最低圧に設定』

になっていることを確認する。設定されていない場合はスイッチを切替え、上記の状態にする。各スイッチの状態が確認されたら、

①低圧ポンプスイッチ …… 『ON』

②高圧ポンプスイッチ …… 『ON』

にする。



図－5．1　制御パネル配置図

（３）各種設定値の確認

制御に必要な各種定数、初期値を画面上で確認する（必要項目は印刷可）。または、すでに設定されている値で問題がないことを確認する。項目は以下の通りである。

・環境データ

沈下抵抗係数 …… （４．２．１ ④）

修正目標沈下量 …… （４．２．１ ⑥）

躯体慣性定数 …… （４．２．１ ⑤）

最大圧入力 …… （４．２．１ ①）

圧入力保持条件 …… （４．２．１ ⑨）

最大油圧値

低圧油圧値

緊張完了油圧条件 …… （４．２．１ ⑧）

油圧上昇ステップ …… （４．２．１ ⑦）

無偏心判定角 …… （４．２．１ ②）

最適沈下速度 …… （４．２．１ ③）

ジャッキ断面積

許容余裕圧 …… （４．２．２ ①）

傾斜計位置

沈下計位置

・警報データ

（圧入時）

許容沈下速度 …… （４．２．２ ③･④）

許容傾斜角 …… （４．２．２ ⑤）

許容余裕圧 …… （４．２．２ ①）

沈下不能判定時間

沈下不能沈下量

修正不能判定時間

許容刃口反力変化 …… （４．２．２ ⑩）

許容周面摩擦変化 …… （４．２．２ ⑨）

許容内外水圧差 …… （４．２．２ ⑪）

（非圧入時）

許容沈下量 …… （４．２．２ ⑥）

許容傾斜角 …… （４．２．２ ⑦）

許容油圧低下 …… （４．２．２ ⑧）

許容刃口反力変化 …… （４．２．２ ⑩）

許容周面摩擦変化 …… （４．２．２ ⑨）

許容内外水圧差 …… （４．２．２ ⑪）

（４）初期緊張

グラウンドアンカーの弛み、ジャッキの遊びを取るために初期緊張を行う。

このとき、制御パネルの各スイッチは

⑤高圧設定切替スイッチ …… 『自動』

⑥ジャッキ高低圧切替スイッチ …… 『自動』

⑦ジャッキ伸縮切替スイッチ …… 『自動』

③作業選択スイッチ …… 『緊張ON』（点灯）

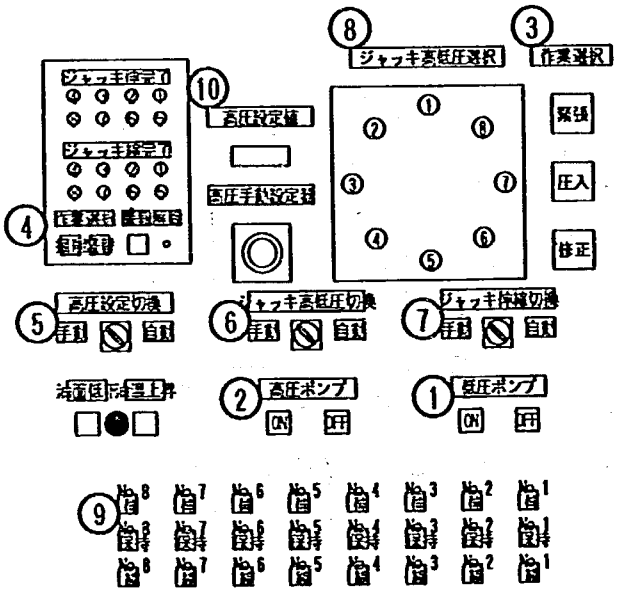
に設定する。

各スイッチを上記の通り設定すると、コンピュータの指令によって自動的に全ジャッキが伸び始め、緊張設定油圧（低圧ジャッキ油圧）になるまでジャッキが伸長する。

なお、作業の途中で異常を発見した場合ならびに初期緊張が完了した場合は、

③作業選択スイッチ …… 『緊張OFF』（点灯解除）

にする。



（5）圧入作業

圧入作業開始時には、制御パネルのスイッチを以下のように設定する。

⑤高圧設定切替スイッチ …… 『自動』

⑥ジャッキ高低圧切替スイッチ …… 『自動』

⑦ジャッキ伸縮切替スイッチ …… 『自動』

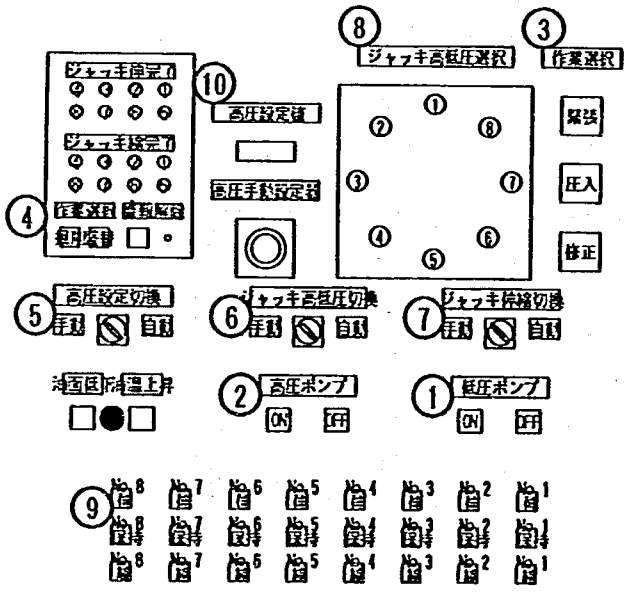
③作業選択スイッチ …… 『圧入ON』（点灯）

各スイッチを上記の通り設定すると、コンピュータの指令によって自動的に全ジャッキが伸び始め、高低圧の選択をしながらケーソンを圧入する。

なお、作業の途中で異常を発見した場合ならびに、圧入作業が完了した場合は、

③作業選択スイッチ …… 『圧入OFF』（点灯解除）

にする。



（6）盛替

ジャッキがストロークの限界まで伸びジャッキ伸完了ランプが点灯したときは、次の圧入を行うための盛替を行う。

⑤高圧設定切替スイッチ …… 『自動』

⑥ジャッキ高低圧切替スイッチ …… 『自動』

⑦ジャッキ伸縮切替スイッチ …… 『自動』

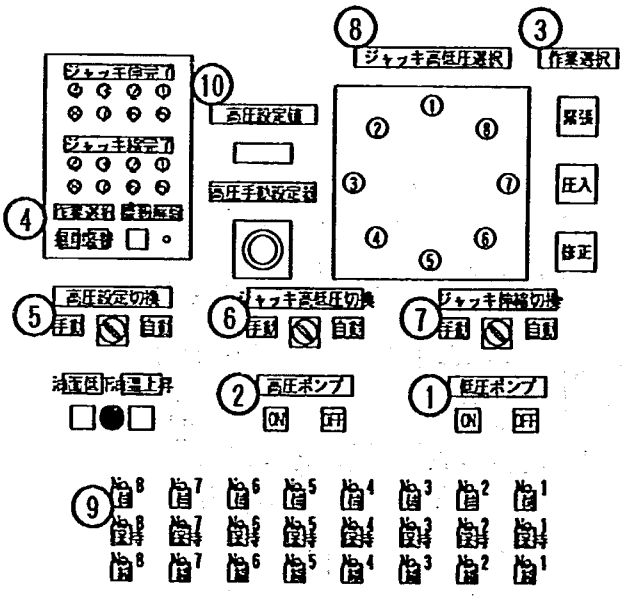
④作業選択スイッチ …… 『盛替ON』（点灯）

盛替が完了するとジャッキ縮完了ランプが点灯するので、確認後「緊張作業」・「圧入作業」に移行する。

なお、作業の途中で異常を発見した場合ならびに盛替が完了した場合は、

④作業選択スイッチ …… 『盛替OFF』（点灯解除）

にする。



（7）圧入終了処理

圧入を終了する場合は、制御パネルのスイッチを以下のように設定する。

③④作業選択スイッチ(掘削,圧入,修正,盛替) ……全て『OFF』

⑤高圧設定切替スイッチ ……『手動』

⑥ジャッキ高低圧切替スイッチ ……『手動』

⑦ジャッキ伸縮切替スイッチ ……『手動』

⑧ジャッキ高低圧選択スイッチ ……全て『低圧』（点灯解除）

⑨ジャッキ伸縮スイッチ ……全て『保持』（点灯）

①低圧ポンプスイッチ ……『OFF』

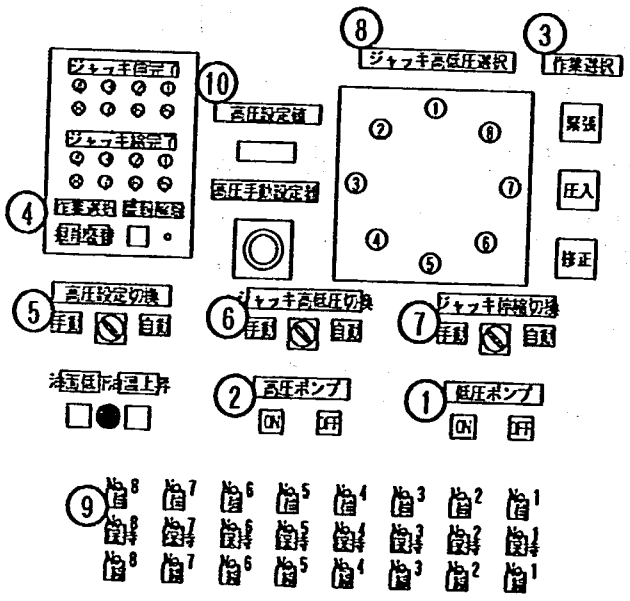
②高圧ポンプスイッチ ……『OFF』

⑩ジャッキ油圧手動設定器 ……『最低圧に設定』

掘削を行う場合には

④作業選択スイッチ ……『掘削ON』（点灯）

圧入時以外でも異常現象を検知する必要がある場合には、計測CPUおよび制御CPUの電源は常時接続しておく。



（８）手動で操作する場合

１）初期緊張

⑤高圧設定切替スイッチ …… 『手動』

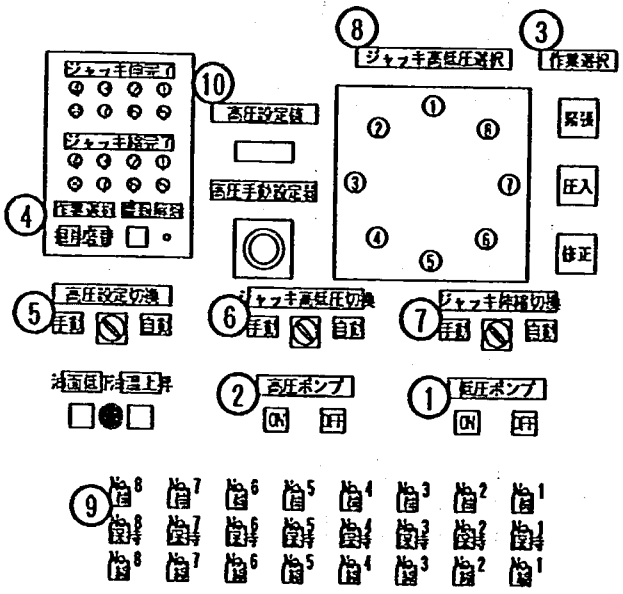
⑥ジャッキ高低圧切替スイッチ …… 『手動』

⑦ジャッキ伸縮切替スイッチ …… 『手動』

⑩高圧手動設定器 …… 『設定』

③作業選択スイッチ …… 『緊張ON』（点灯）

⑨ジャッキ伸縮スイッチ(手動用) …… 全て『伸』



2）圧入作業

⑤高圧設定切替スイッチ …… 『手動』

⑥ジャッキ高低圧切替スイッチ …… 『手動』

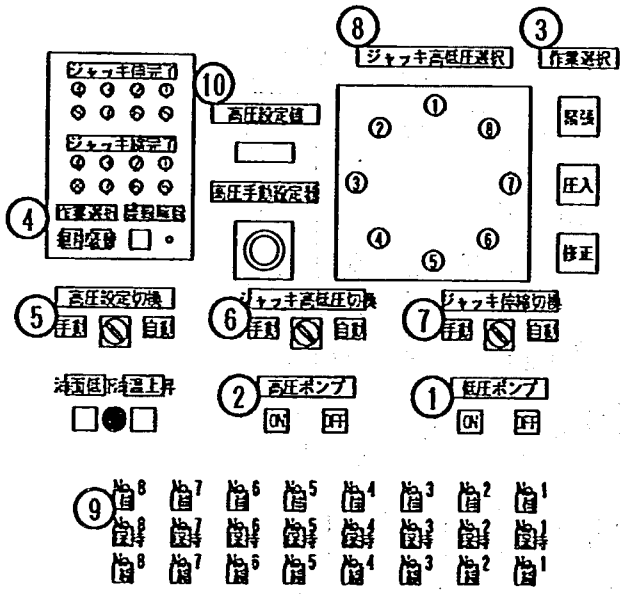
⑦ジャッキ伸縮切替スイッチ …… 『手動』

⑩高圧手動設定器 …… 『設定』

③作業選択スイッチ …… 『圧入ON』（点灯）

⑧ジャッキ高低圧選択スイッチ …… 『高圧』（点灯）

⑨ジャッキ伸縮スイッチ(手動用) …… 全て『伸』



3）盛替

⑤高圧設定切替スイッチ …… 『手動』

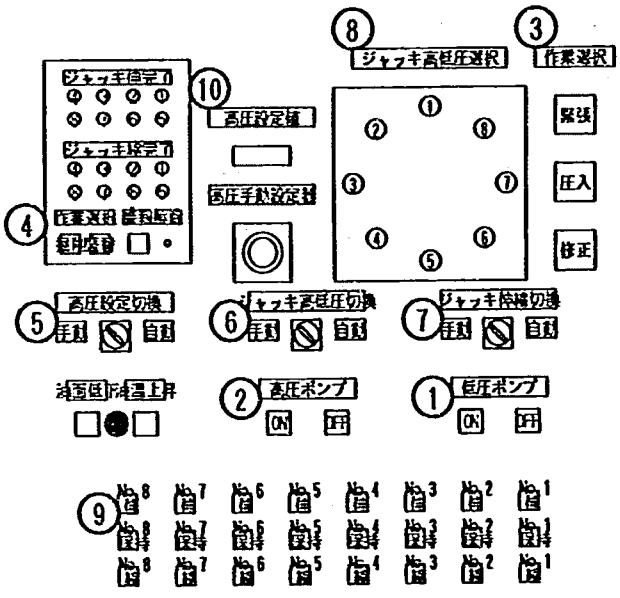
⑥ジャッキ高低圧切替スイッチ …… 『手動』

⑦ジャッキ伸縮切替スイッチ …… 『手動』

⑩高圧手動設定器 …… 『最低圧に設定』

④作業選択スイッチ …… 『盛替ON』（点灯）

⑨ジャッキ伸縮スイッチ(手動用) …… 全て『縮』



５．２　データの管理

５．２．１　管理データの保存と処理

管理データは、標準として制御CPU付属のハードディスクにテキスト形式で記録される。

データ保存時間間隔は、

圧入時 …… １回/sec

非圧入時 …… １回/min

１回あたりの保存データは、６７２ bytes であり、

圧入１回を４０分とすれば、６７２×６０×４０ ＝ １，６１２，８００ bytes

非圧入で２４時間データを取ると、６７２×６０×２４ ＝ ９６７，６８０ bytes

例えば、４ｍの１ロットを１０日間（含休日）で沈設するとすれば、ほぼ、

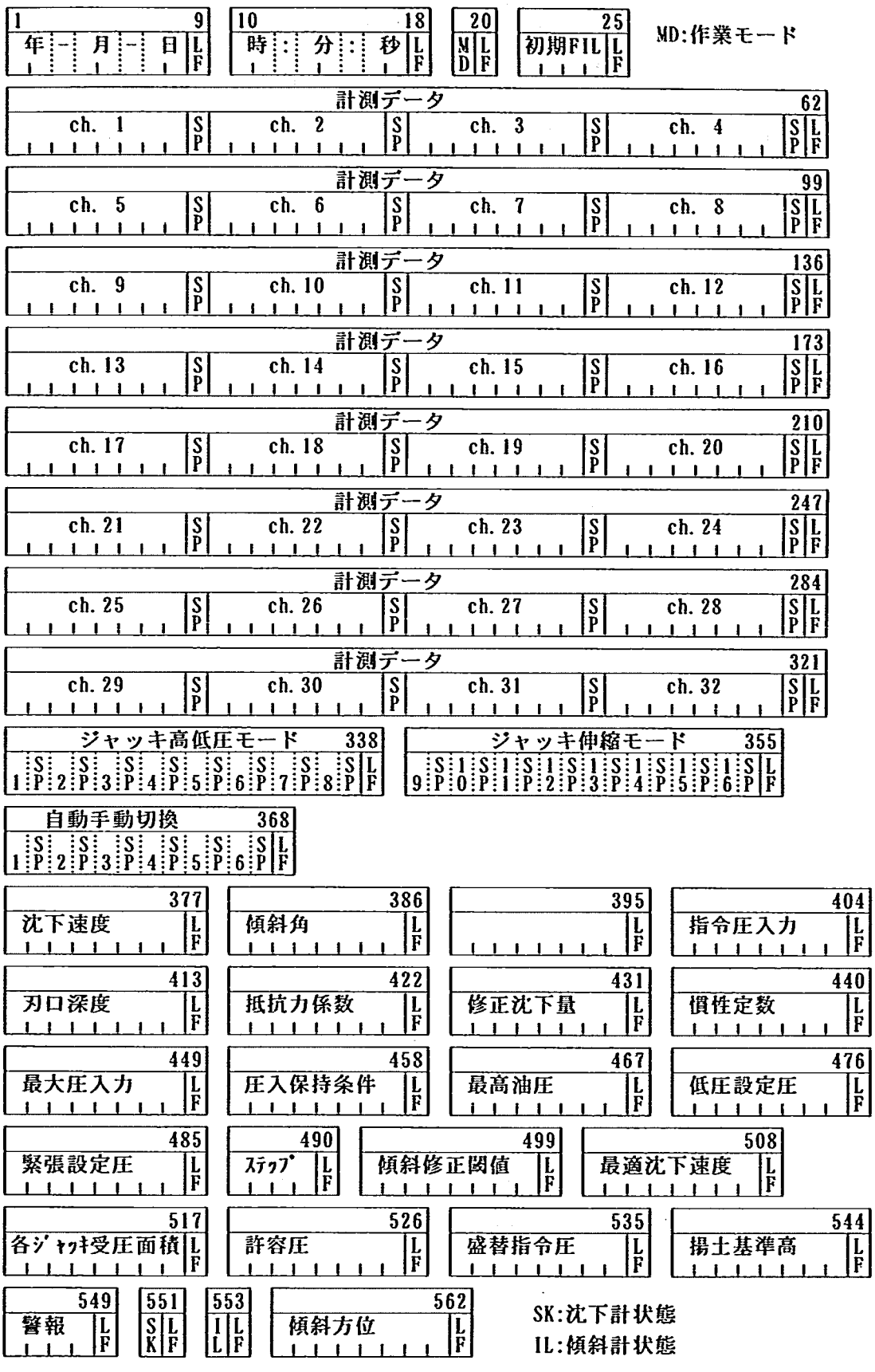
１４×１，６１２，８００＋１０×９６７，６８０ ＝ ３２，２５６，０００ bytes

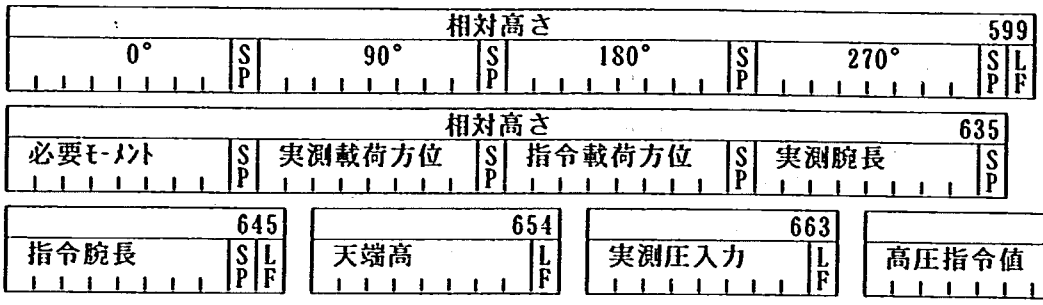
程度のデータが蓄積される。

特に、大深度のケーソンを長期間にわたって沈設する際には、適宜フロッピーディスク等の記憶媒体にコピーして余裕を持たせて沈設するのがよい。

蓄積されたデータは、適宜解析に利用されたい。

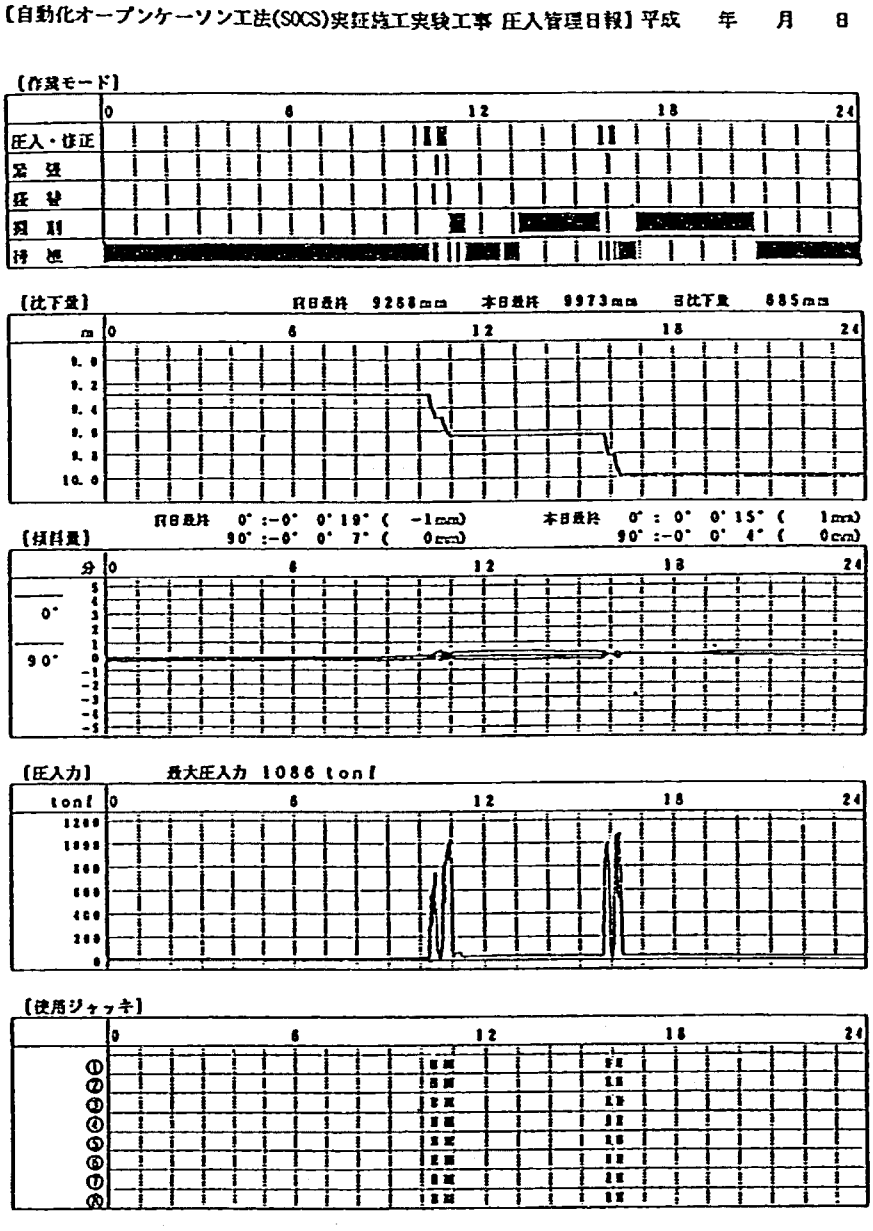
データフォーマットは、下記の通り。




相対高さ
599
0°
SP
90°
SP
180°
SP
270°
SP
LF
相対高さ
635
必要ﾓｰﾒﾝﾄ
SP
実測載荷方位
SP
指令載荷方位
SP
実測腕長
SP
645
指令腕長
SP
LF
654
天端高
LF
663
実測圧入力
LF
672
高圧指令値
LF

５．２．２　圧入管理日報の出力

圧入管理日報は、1日単位で出力できる。日報出力中、制御CPUは他の作業を行えず、データ量によって数分～十数分を要するので他の作業の支障にならない時間に行うとよい。



図－５．２　圧入管理日報出力例

資料－Ⅳ

止水壁調査研究報告書

第１章　概要

１．１　研究概要

ケーソン躯体は、沈設天端が水面下あるいは地表面下になることが多いので、水や土砂の流入を防ぐための仮設の止水壁が必要となる。止水壁には、土圧、水圧などの側圧だけでなく、圧入力などにも耐え得る強度を有することが要求される。自動化オープンケーソン工法(SOCS)は、躯体構築をプレキャスト化による施工の合理化を図っているため、止水壁とブロック部材との接続や圧入後の止水壁の撤去が容易でなおかつ施工の安全性が高い止水壁工法を検討する必要がある。

止水壁に関する調査研究では、ケーソン工事での止水壁施工における安全性、省力化などの向上を目的として、止水壁の構造ならびに接続、撤去方法の施工実績、指針や各示方書の現状などの調査研究をおこない、自動化オープンケーソン工法(SOCS)に適した止水壁の構造について検討し、計画、設計、施工の参考になる技術資料をまとめた。

まず、既往技術の調査としては、ケーソン工事の止水壁の設計、施工に関する文献調査と工業所有権調査を行うとともに、建設３８社に対してアンケート形式による施工実績調査を実施した。解答のあった６４事例のアンケート調査結果に基づいて、現場打ちＲＣ、プレキャストＲＣ、鋼矢板、鋼殻などの各使用材料ごとの使用実態をまとめるとともに、示方書や指針類にしめされた適用範囲と実績とを比較し、各使用材料の経済性、施工性、省力化にあたっての課題などについて検討を行った。

次に、ケーソン工事の止水壁に関する設計指針、示方書類について調査し、作用荷重、許容応力度、土圧、水圧、周面摩擦力などの考え方、施工についての規定などを整理し設計指針類の比較検討を実施した。

代表事例の設計方法については、設計計算方法を詳細に調査し、示方書や指針類に示された計算手法などの比較をおこなった。

文献調査やアンケート調査結果などを参考にして、止水壁の種類を使用材料、構造形式により分類し、各止水壁材料毎に標準的な形状を示し、無筋コンクリート、現場打ちＲＣ、プレキャストＲＣ、鋼矢板、鋼殻などの各使用材料の特性を止水壁高さの目安、止水性、継手の止水方法、圧入ケーソンへの適用性、撤去の容易性、撤去方法から比較検討した。また、止水壁の選定にあたって考慮すべき条件と主たる検討項目について示すとともに、解体、撤去方法について述べ、方法選定に際して考慮すべき条件をあげた。各止水壁材料別の施工についてもケーソン躯体との接合、固定方法などの構造概要、施工手順（施工フロー）、施工方法、安全上の留意点を整理した。

アンケート解答事例６４例のうち止水壁施工の安全性、省力化向上の観点から参考となる事例２０件について設計、施工法の詳細な資料を得る目的で再調査を実施した。

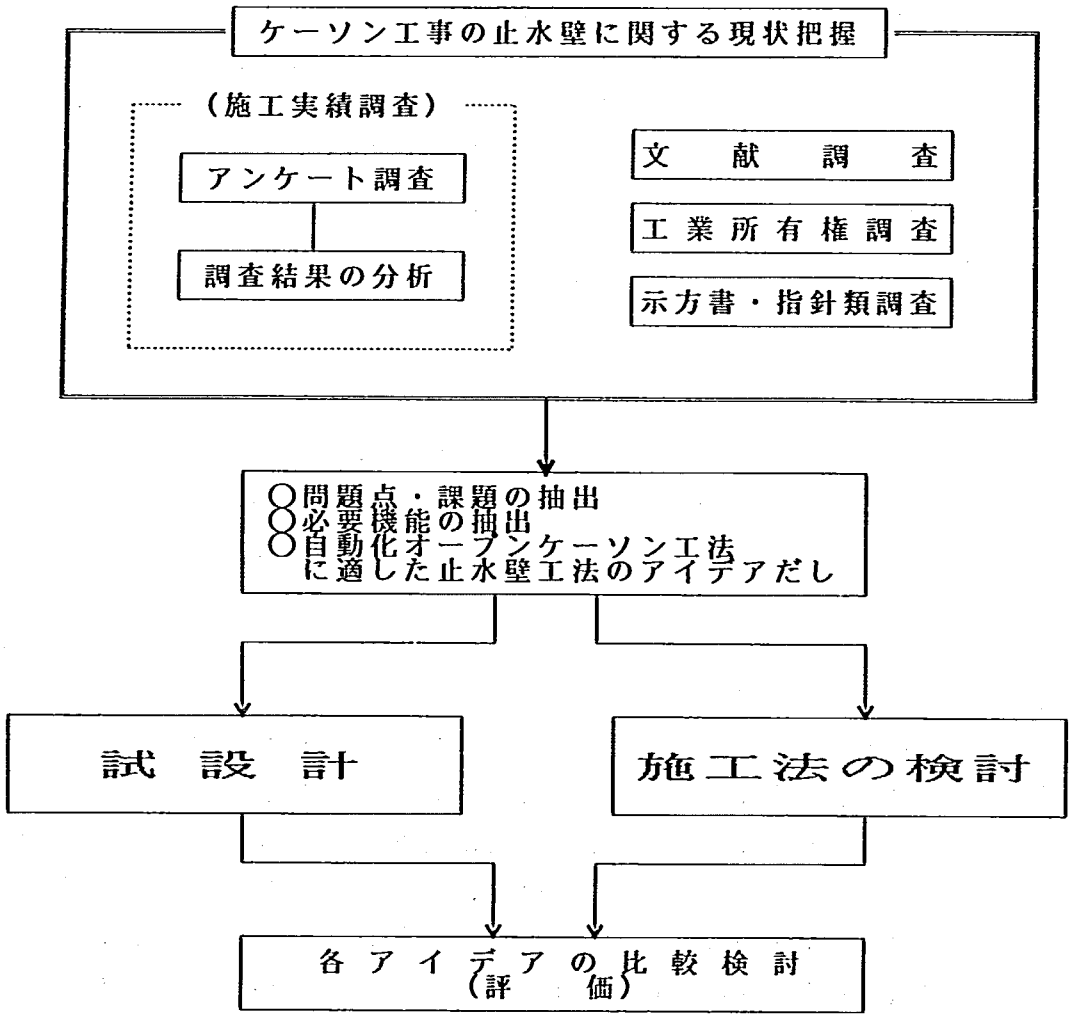
各解答をもとにそれぞれの事例の止水壁構造の詳細、施工フロー、施工方法の詳細、所要工程、安全上のポイントなどについてまとめた。

最後に、上記調査結果などを参考にして、自動化オープンケーソン工法(SOCS)に適した止水壁工法について検討した。直径１０ｍ、高さ７ｍ程度の止水壁を想定して、安全性が高くかつ省力化が図れる止水壁の材料と構造案として、「組み合わせ鋼矢板」「鋼

管矢板」「Kドメール」「角型鋼管」「PC壁体」の各案を抽出し、在来の現場打ちRC止水壁とコスト、施工性、汎用性、転用性、止水性能、適用範囲などについて比較検討した。

1.2 研究フロー

止水壁に関する調査研究の研究フローを示すと図－1.1.1のようになる。



図－1.1.1　研究フロー

第２章　既往技術の調査

止水壁の施工実態を把握するため、これまでに発表された止水壁の施工に関する文献調査、および施工事例に関するアンケート調査を行った。また、ケーソン止水壁に関する特許についても文献と同様に調査、整理を行ったが、その結果は巻末の資料に添付した。

２．１　文献調査

ケーソン工事に用いられている止水壁の設計、施工に関連する文献を、既往の文献、資料等から抽出した。

２．１．１　調査概要

(1)調査方針

文献調査は専門誌を中心に、官公出版物、一般刊行誌について行った。今回の調査では、特にプレキャスト部材を用いた事例の収集が大きな目的であったが、得られた文献は少なかった。

(2)調査方法

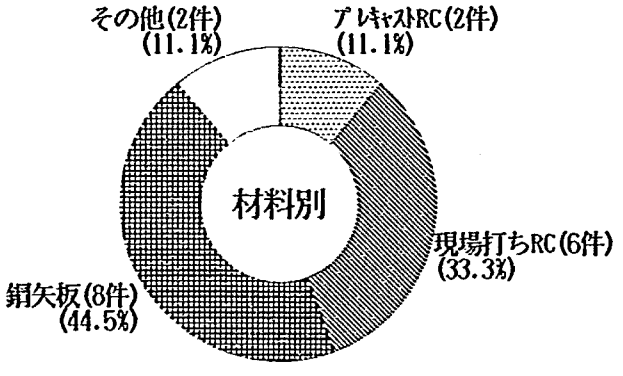
調査は日本科学技術情報センター(JICST)のオンライン検索システム（JOIS）を用いて、関連する文献の検索を行った。また、専門誌および各社社内技術報などに掲載されている文献を目次等で検索し、関係のあるものについて確認、抽出を行った。

【ＪＯＩＳ検索】　検索日：平成５年８月１２日、１３日
検索ﾃﾞｰﾀ数：６６件（この内有効データは３件）

【文献の検索】　検索期間：平成５年８月～１０月
検索方法：雑誌等の目次と内容の確認
抽出数：１５件

(3)調査結果の集計

図－２．１．１に、抽出した文献を止水壁に用いた材料別に集計した結果を示す。



図－２．１．１　文献調査結果の集計

2．1．2　調査結果

表－2．1．1に文献調査の一覧表を示す。

表中の「検討項目、参考度」では、材質、本体との接続方法、撤去方法について、各文献の内容に関して参考となる度合い（参考度）のランク付けを行った。

また、各文献の書誌的な項目、止水壁の規模、施工条件および概要図などを文献毎に調査表にまとめた。

表-2.1.1 オープンケーソン工法の止水壁に関する文献調査一覧表

文献No.	文献名	出典	巻(年次)	号	工事名	発注者	施工者	検討項目・参考度 材質 ①プレキャストRC ②現場打ちRC ③鋼矢板 ④その他	本体との接続方法 ①鉄筋 ②鋼棒 ③その他	撤去方法 ①分割引上げ ②一括引上げ ③発破 ④油圧ブレーカー ⑤その他	備考
1	東名高速道路浜名湖橋(下部工)工事	土木工事施工例集3 基礎工編	1972		浜名湖橋(下部工)工事	日本道路公団	㈱白石	③◎	③◎		ニューマチックケーソン
2	木曽三川橋下部工工事の施工	土木工事施工例集	1978		木曽三川橋下部工工事	日本道路公団		③◎	③◎		オープンケーソン
3	第2信濃川橋梁下部構造施工	土木工事施工例集3 基礎工	1978		第2信濃川橋梁下部構造施工	日本鉄道建設公団		③◎	①◎	②◎	
4	筑後川大橋下部工工事	土木工事施工例集3 基礎工	1978		筑後川大橋下部工工事	日本道路公団	大豊建設㈱	②◎ ③◎	①◎		パイプロハンマ引き抜き
5	(工事報告)阿武隈橋架替工事	橋梁	1980	2	阿武隈橋下部工事	建設省東北地建		③△	②△		ニューマチックケーソン
6	(工事報告)川口橋下部工の施工と上部工の設計	橋梁	1980	6	川口橋下部工事	日本道路公団	㈱白石	④△			ニューマチックケーソンマテリアルシャフトの止水壁として鋼管を利用
7	首都高速道路小菅インターチェンジの大型ケーソン工事概要	建設の機械化	1980	12		首都高速道路公団	大成・若築JV,熊谷組				ニューマチックケーソン
8	(施工報告)中国自動車道太田川橋(下部工)の設計・施工	橋梁	1981	8	太田川橋下部工事	日本道路公団	大旺・伏光JV	②△			ニューマチックケーソン
9	オープンケーソン基礎の施工報告	鴻池技術社内報	1981	9	今尾橋下部工事	岐阜県	㈱鴻池組	①○	②○	①◎	アンケート調査にあり
10	(施工報告)一般国道23号豊川橋の設計と施工	橋梁	1982	4		日本道路公団		③△			オープンケーソン
11	上賤母橋ケーソン基礎の施工について	建設省中部地方建設局技術報告会資料	1982			建設省中部地建	竹中土木㈱	②○ ③○			ニューマチックケーソン
12	(施工報告)新吉野川大橋下部(第1)工事と今後の施工計画	橋梁	1983	4	新吉野川大橋下部工事その1工事	建設省四国地建	㈱熊谷組	②△	①△	③◎	アンケート調査にあり
13	眼でみる土木施工法 PCウエルの製作から施工まで	土木施工	1984	9				①△	②△		PCウェルと橋柱ブロックの標準規格
14	千歳大橋の計画・設計・施工	橋梁	1984	10	千歳大橋下部工	新潟市		③△	①△	①△	
15	不明	土木構造物設計計算例シリーズ④	1985					②○			
16	(報文)新田原井堰の施工について	農業土木学会誌	1986	8		中国四国農政局		②△	①△	④△	ニューマチックケーソン
17	(施工報告)新上武大橋の計画と施工(状況)	橋梁	1987	9	新上武大橋下部工第1期工事	建設省関東地建		②△	②◎	③◎	ニューマチックケーソン
18	(工事報告)重要港湾広島港海田大橋下部工工事	土木技術	1987	9	海田大橋下部工工事	広島県		②△	②◎	①◎ ②◎	オープンケーソン

＊ 検討項目欄の数字および記号は、次の事項を表わす。

材　　質【1. プレキャストRC　2. 現場打ちRC　3. 鋼矢板　4. その他】

本体との接続【1. 鉄　筋　2. 鋼　棒　3. その他　　】

撤去方法【1. 分割引上げ　2. 一括引上げ　3. 発　破　4. 油圧ブレーカー　5. その他】

◎ 非常に参考になる記述がある。　○ 参考になる記述がある。　△ 記述がある。　無印 記述がない。

2.2　アンケート調査

ケーソン工事に用いられている止水壁の構造および撤去方法などの施工実態を把握し、施工の省力化および安全性向上を目指した新しい止水壁の構造を検討する上での参考資料を収集するため、アンケート調査を行った。

2.2.1　調査概要

(1)調査方針

近年、建設工事の効率化、特に、プレハブ化への要請が高まっている。本研究においても、止水壁の効率的な施工方法の研究・開発を目的にしており、施工事例の中でも特にプレキャスト部材を用いた事例に着目して調査・分析を行った。

また、ケーソンで用いられる止水壁は仮設構造物であり、ケーソン沈設完了後は撤去しなければならない。したがって、ケーソン本体との接続構造も含めて止水壁の設置、撤去方法およびその期間などについても分析を行った。

(2)調査方法

調査は、ＰＣウェル工法研究会に参加している建設会社（３２社）を対象に、調査票を配布し、関連する施工実績のアンケート調査を行った。

①調査対象

オープンケーソンおよびニューマチックケーソン工事における止水壁

（仮締切は対象外）

②調査時期

平成５年８月～９月

(3)調査項目

①工事概要（工事名、工事場所、工　期、発注者）

②構造概要（一般構造図、接続部（ケーソン本体と止水壁）詳細図、その他詳細図、材質等）

③設置、撤去方法

④止水壁の構造および撤去工法の選定理由

⑤設置、撤去の工程

⑥工業所有権

⑦設計計算書・施工計画書

(4)アンケートの回収状況

調査の結果、６４件の有効回答が得られた。

アンケートの回答集計表を表－２．２．１に示す。

【注意事項】

・特許、実用新案については、出願段階にあるものから「有」に分類した。

・対象構造物「その他」は鉄塔基礎（２件）

・寸法の表示

（円　形）：外径×壁厚×高さ

（矩　形）：短辺×長辺×壁厚×高さ

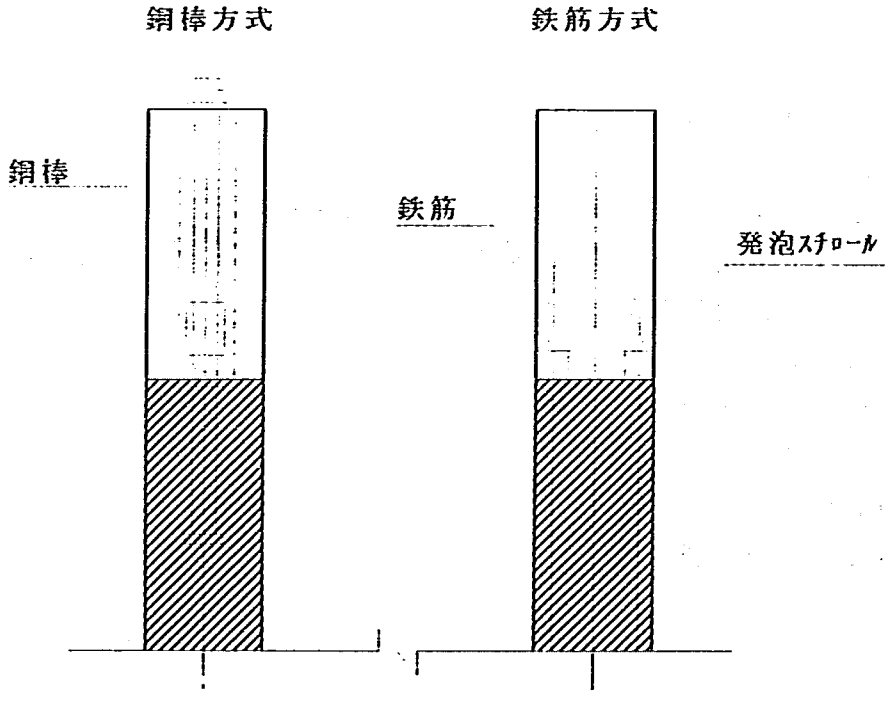
（小判形）：円弧部の外径×円弧部も含めた長辺×壁厚×高さ

・分割撤去において、１リフト当たりの施工日数で回答している場合は、全体の撤去日数に換算してまとめた。

・「本体との接合方法」の分類については、図－２．２．１に示す２種類に大別した。

鋼棒方式：本体に定着した鋼棒により止水壁を緊結する方法

鉄筋方式：鉄筋によって直接接合する方法



図－２．２．１　ケーソン本体と止水壁の接続方法

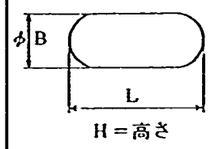
表－2.2.1(a) 止水壁に関するアンケート回答結果一覧表①

件名番号	特許（有は○・無は×）	実用新案（有は○・無は×）	対象構造物 1 橋梁基礎	2 立坑	3 その他	止水壁形状 1 矩形	2 円形	3 小判形	4 その他	寸法	止水壁と橋脚との最小離隔	山留 有	山留 無	地下水位（止水壁天端からの距離）	止水壁部の土質	施工条件 1 土中	2 水中	3 その他	周辺環境 1 河川	2 海洋	3 市街地	4 その他	止水壁の材料 1 プレキャストRC	2 現場打ちRC	3 鋼矢板（Ⅱ型・Ⅲ型・Ⅳ型）	4 その他	本体と接続 1 鉄筋	2 鋼棒	3 その他	止水壁の撤去方法 1 分割引上げ	2 一括引上げ	3 発破	4 油圧ブレーカー等	5 その他（静的破砕剤使用等）	工程 設置所要日数	撤去所要日数	工法選定理由 構造 撤去範囲を限定	構造 載荷重不足に対応	撤去工法 完全撤去	撤去工法 河川水質に配慮	撤去工法 工期短縮	撤去工法 騒音振動に配慮	撤去工法 経済性	撤去工法 その他	工事完了年月	備考
1	×	×	○			○				15.0×15.0×0.5 ×6.7	不明	○		不明	不明	○			○					○					○	○						18	12	○	○		○				○	1979. 6	ｺﾝｸﾘｰﾄ破砕機でﾌﾞﾛｯｸ化後撤去(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
2	×	×	○				○			φ8.0×0.4×6.0	不明	○		不明	不明	○			○					○				○					○			15	7	○	○			○		○	○	1985. 6	ｱﾝｶｰ筋は，箱抜きで切断(不明)
3	×	×	○			○				30.0×25.0 ×1.5～0.5×2.5	1.50		○	天-1.4	砂礫	○			○					○				○		○					21	22	○				○	○		○	1993. 3	鋼管矢板締切内撤去(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
4	×	×	○					○		φ6.2×9.0 ×0.5×13.5	1.00		○	天-0.5	不明	○			○					○		○	○					○			40	11					○	○	○	○	1982.12	下部8.0mはＲＣ製中仕切壁有り(ｵｰﾌﾟﾝ)
5	×	×	○				○			φ5.5×0.25×7.0	不明		○	天-1.9	砂質土	○			○					○			○						○		8	16		○			○			○	1994. 2	ｻｲﾚﾝﾄｸﾗｯｼｬｰ併用(不明)
6	×	×	○				○			φ4.0×0.25×7.0	不明		○	天-1.9	不明	○			○					○			○						○		10	12		○			○			○	1988. 6	ｻｲﾚﾝﾄｸﾗｯｼｬｰ併用(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
7	×	×	○					○		φ5.6×8.8 ×0.4×11.0	1.00	○		天-6.0	不明	○			○				○					○		○					14	13	○	○		○	○			○	1990.12	1.0m×11.0mのﾋﾞｰｽ(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
8	×	×	○				○			φ5.5×0.5×3.0	1.00		○	不明	不明	○			○					○				○					○		10	3	○	○						○	1985.12	鋼矢板を変更(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
9	×	×	○			○				20.9×20.9 ×0.5×13.5	不明	○		天-0.8	砂質土	○			○					○					○	○					140	不明	○			○	○	○	○	○	1986. 3	ｸﾚｰﾝ船によりﾌﾞﾛｯｸ引上(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
10	×	×	○				○			φ7.7×0.4×4.5	不明		○	不明	不明	○			○					○				○					○		7	不明	○							○	1993. 4	(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
11	×	×	○					○		φ6.5×11.5 ×0.6×8.55	0.90		○	天-1.1	砂礫	○			○					○				○						○		21	11	○	○						○	1991. 8	上ﾛｯﾄはﾆﾌﾞﾗ破砕，下一括引上(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
12	×	×	○					○		φ9.0×15.0 ×0.4×3.5	不明		○	天±0	不明	○			○					○				○				○	○		10	18						○		○	1974. 9	ｺﾝｸﾘｰﾄ破砕機，上1mはﾌﾞﾚｰｶ(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
13	×	×	○				○			20.0×20.0 ×0.5×15.5	4.50	○		不明	不明		○			○					○				○				○		96	32	○							○	1990. 3	ｸﾚｰﾝ船で水平分割吊上げ(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
14	×	×	○				○			9.54×25.04 ×0.25×2.4	0.02		○	天-0.5	不明	○					○			○				○				○		14	－								○	1994. 2	二重締切内施工撤去せず(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)

※ＲＣ止水壁は平面寸法の後に厚さｔを記入

表－2.2.1(b) 止水壁に関するアンケート回答結果一覧表②

件名番号	特許（有は○・無は×）	実用新案（有は○・無は×）	対象構造物 1 橋梁基礎	2 立坑	3 その他	止水壁形状 1 矩形	2 円形	3 小判形	4 その他	寸法	止水壁と橋脚との最小離隔	山留 有	山留 無	地下水位（止水壁天端からの距離）	止水壁部の土質	施工条件 1 土中	2 水中	3 その他	周辺環境 1 河川	2 海洋	3 市街地	4 その他	止水壁の材料 1 プレキャストRC	2 現場打ちRC	3 鋼矢板（Ⅱ型・Ⅲ型・Ⅳ型）	4 その他	本体と合成 1. 鉄筋	2 鋼棒	3 その他	止水壁の撤去方法 1 分割引上げ	2 一括引上げ	3 発破	4 油圧ブレーカー等	5 その他（静的破砕剤使用等）	工程 設置所要日数	撤去所要日数	工法選定理由 構造 撤去範囲を限定	構造 載荷重不足に対応	撤去工法 完全撤去	撤去工法 河川水質に配慮	撤去工法 工期短縮	撤去工法 騒音振動に配慮	撤去工法 経済性	撤去工法 その他	工事完了年月	備考
15	×	×			○		○			φ6.5×0.35×5.8	1.66		○	不明	不明	○						○		○		○	○					○			14	1		○						1990. 6	撤去の上0.6mは無筋鉄塔基礎(ニューマチック)
16	×	×	○					○		φ8.0×17.0 ×0.5×8.0	不明	○		天-2.0	不明	○			○					○			○			○					32	15				○			○	1994. 6	上部5.0mのみ撤去(ニューマチック)
17	×	×	○					○		φ8.0×11.0 ×0.7×8.05	－	○		天 -1.697	不明		○		○					○			○				○	○			38	36								1987. 6	場所打ちＲＣ
18	不	明	○					○		φ13.0×18.5 ×1.0×12.0	3.50		○	不明	不明		○				○					○	○			○				15	12			○	○		○		1983. 2	鋼枠
19	○	×	○			○				7.8×11.8 ×0.5×9.0	不明	○		不明	砂礫		○		○						○				○			○			42	7		○		○		○		1978. 5	橋脚を反力受として PC鋼線とジャッキで引上げた。
20	×	×	○					○		φ7.0×15.0 ×0.4×10.5	不明	○		不明	不明		○		○						○				○	○					－	－		○	○		○		1978. 5	
21	×	×	○				○			φ10.0×0.45×8.5	不明	○		不明	不明										○				○	○					17	13			○					1994. 6	
22	○	×	○					○		φ8.0×13.0 ×0.45×8.7	不明	○		不明	不明	○			○						○				○	○					20	12			○					1991. 6	バイブロハンマー使用
23	×	×	○				○			φ6.0×0.5×9.0	0.875		○	天-3.5	置換砂		○		○						○				○	○					6	3		○	○					1982. 3	クローラクレーンで引き抜き
24	×	×	○					○		φ14.8×19.8 ×0.45×9.5	不明	○		天-5.0	普通土	○				○					○				○				○	○	24	10								1992. 3	
25	×	×	○				○			φ13.0×0.5×8.35	3.15		○	不明	不明			○	○					○			○				○				42	27		○		○		○		1992. 7	二重締切内施工 5リフトをリフト毎に引上げた。
26	×	×	○					○		φ10.0×22.0 ×1.2×9.07	不明	○		不明	不明	○			○						○				○	○			○	○	40	19	○	○	○			○		1991. 3	オープンケーソン
27	×	×	○					○		φ7.7×11.7 ×0.75×6.7	不明	○		不明	不明	○			○						○				○			○			26	6		○					○	1988. 6	2リフトで構築。記事なしであるが発破のため経済性に欠。
28	×	×	○					○		φ9.6×14.0 ×0.45×7.20	不明	○		不明	不明	○			○						○				○				○		36	6	○	○	○		○	○		1991. 7	(ニューマチック)



※ＲＣ止水壁は平面寸法の後に厚さｔを記入

表－2.2.1(c) 止水壁に関するアンケート回答結果一覧表③

件名番号	特許（有は○・無は×）	実用新案（有は○・無は×）	対象構造物 1 橋梁基礎	2 立坑	3 その他	止水壁形状 1 矩形	2 円形	3 小判形	4 その他	寸法 (円形) 外径 厚 高 φR×t×H (矩形) B×L×t×H (小判形) φB×L×t×H 小判形の場合 H＝高さ	止水壁と橋脚との最小離隔	山留 有	山留 無	地下水位（止水壁天端からの距離）	止水壁部の土質	施工条件 1 土中	2 水中	3 その他	周辺環境 1 河川	2 海洋	3 市街地	4 その他	止水壁の材料 1 プレキャストRC	2 現場打ちRC	3 鋼矢板（Ⅱ型・Ⅲ型・Ⅳ型）	4 その他	本体と合壁の接合 1 鉄筋	2 鋼棒	3 その他	止水壁の撤去方法 1 分割引上げ	2 一括引上げ	3 発破	4 油圧ブレーカー等	5 その他（静的破砕剤使用等）	工程 設置所要日数	撤去所要日数	工法選定理由 構造 撤去範囲を限定	構造 載荷重不足に対応	撤去工法 完全撤去	撤去工法 河川水質に配慮	撤去工法 工期短縮	撤去工法 騒音振動に配慮	撤去工法 経済性	撤去工法 その他	工事完了年月	備考
29	×	×	○				○			φ13.0×0.3×2.0	不明		○	不明	不明	○			○					○			○			○					10	4			○		○	○			1979. 3	縦方向を合板により縁切り(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
30	×	×	○					○		φ6.0×15.0 ×0.5×5.6	0.50	○		天 -1.06	不明	○			○					○			○				○				17	9			○	○	○	○			1989. 3	躯体構築に2日ﾌﾟﾗｽ(ﾆｭｰﾏﾁｯｸ)
31	×	×	○					○		φ7.0×7.0 ×0.4×4.5	不明		○	不明	不明	○			○					○				○			○				20	11			○						1991.10	バイブロハンマーによる引き抜き
32	○	×	○					○		φ7.5×20.0 ×0.7×13.5	不明	○		不明	－		○			○				○			○			○	○				70	10			○		○		○		1987.10	特許公告 平4-18088 リフト構築を10日 撤去は1リフト2日
33	×	×	○				○			φ13.0×0.4×6.3	1.95		○	不明	－		○		○					○				○			○		○		17	6	○	○	○		○		○		1991. 8	
34	×	×	○					○		φ7.0×14.5 ×（不明）	不明	不	明	不明	不明	不	明		○					○				○			○				14	3	○		○		○	○			1989. 2	ｺﾝｸﾘｰﾄ破砕機使用(ｵｰﾌﾟﾝ)
35	×	×	○				○			φ10.0×0.5×5.24	2.35	○		不明	不明	○			○					○				○				○			13	8		○	○		○				1993. 2	油圧ﾌﾞﾚｰｶ使用
36	○	×	○					○		φ7.5×13.0 ×0.6×8.5	2.25		○	不明	不明	○			○					○				○			○		○		22	16	○	○	○		○	○			1992. 6	特許出願公開 平3-271420
37	○	×	○				○			φ10.0×0.5×7.0	1.50		○	不明	不明	○			○					○				○			○		○		22	13			○		○				1989. 7	特許出願公開 平3-271420
38	×	×	○					○		φ9.0×11.5 ×0.8×6.7	1.45	○		不明	不明	○			○					○				○				○			20	11			○					○	1988. 7	躯体構築に2日ﾌﾟﾗｽ
39	×	×	○				○			φ7.0×0.3×5.3	不明		○	天-2.3	不明		○			○					○				○			○	○		10	8			○				○	○	1981.11	躯体構築に2日ﾌﾟﾗｽ 静的破砕剤使用
40	×	×			○		○			φ5.608×0.25 ×8.0	－	○		天-1.5	不明	○			○						Ⅲ			○		○					10	6		○	○	○	○				1992. 6	止水壁の直径は鋼矢板の中心(ｵｰﾌﾟﾝ)
41	×	×	○					○		φ7.5×13.0 ×0.6×8.0	不明	○		不明	不明	○			○					○				○				○			29	9	○	○		○	○				1993. 7	橋脚を反力受としてｼﾞｬｯｷｱｯﾌﾟ
42	×	×	○			○				4.4×6.0 ×0.2×6.0	不明	○		天-0.5	不明	○						○			Ⅱ			○		○					9	5	○	○	○						1993. 6	埋戻し後バイブロで引抜き

※ＲＣ止水壁は平面寸法の後に厚さｔを記入

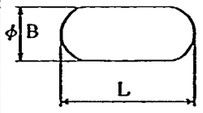
表－2.2.1(d) 止水壁に関するアンケート回答結果一覧表④

件名番号	特許（有は○・無は×）	実用新案（有は○・無は×）	対象構造物 1 橋梁基礎	2 立坑	3 その他	止水壁形状 1 矩形	2 円形	3 小判形	4 その他	寸法	止水壁と橋脚との最小離隔	山留 有	山留 無	地下水位（止水壁天端からの距離）	止水壁部の土質	施工条件 1 土中	2 水中	3 その他	周辺環境 1 河川	2 海洋	3 市街地	4 その他	止水壁の材料 1 プレキャストRC	2 現場打ちRC	3 鋼矢板（II型・III型・IV型）	4 その他	本体と接合 1 鉄筋	2 鋼棒	3 その他	止水壁の撤去方法 1 分割引上げ	2 一括引上げ	3 発破	4 油圧プレーカー等	5 その他（静的破砕剤使用等）	工程 設置所要日数	撤去所要日数	工法選定理由 構造 撤去範囲を限定	構造 載荷重不足に対応	撤去工法 完全撤去	撤去工法 河川水質に配慮	撤去工法 工期短縮	撤去工法 騒音振動に配慮	撤去工法 経済性	撤去工法 その他	工事完了年月	備考
43	×	×	○					○		φ6.4×19.4 ×0.2×6.4	1.50	○		天-1.8	不明	○			○						II			○		○					13	8	○		○	○					1983. 3	埋戻し後バイブロで引抜き
44	×	×	○					○		φ9.4×21.9 ×0.25×7.9	不明	○		不明	不明	○			○						III			○		○					17	6	○		○	○	○	○			1990. 5	埋戻し後バイブロで引抜き
45	×	×	○					○		φ8.8×17.8 ×0.2×7.0	1.30	○		不明	不明	○			○						II			○		○					8	8									1985. 3	埋戻し後クレーンで引抜き
46	×	×	○				○			φ6.9×0.25×9.9	1.20	○		天-0.5	不明		○		○						III			○		○					26	24	○		○	○	○	○			1993. 7	埋戻し後バイブロで引抜き
47	×	×	○			○				23.5×27.5 ×0.31×15.0	2.10	○		不明	不明	○			○						IV			○		○					53	21		○							1994. 7	2ロット施工で鋼矢板を接合
48	×	×	○			○				7.5×23.5 ×0.25×12.0	0.50	○		不明	不明	○			○						III			○		○					20	11									1993. 3	二重締切内バイブロ引抜き
49	×	×	○				○			φ9.3×0.2×2.5	不明	○		不明	－	○								○	II			○		○					4	3	○		○		○	○			1994. 1	埋戻し後バイブロで引抜き
50	×	×	○					○		φ7.5×14.5 ×0.2×1.7	不明		○	天-0.3	不明	○			○						II				○	○					4	4	○		○	○					1993. 5	パラペット天端に鋼矢板下端を溶接したので撤去時切断処理
51	×	×	○					○		φ7.5×13.5 ×0.25×6.0	不明	○		不明	不明	○			○						III			○		○					18	8	○		○	○	○				1989. 6	埋戻し後クレーンで引抜き
52	×	×	○					○		φ7.1×19.6 ×0.2×6.0	不明	○		不明	不明	○			○						II			○		○					9	6	○		○	○	○				1991. 8	埋戻し後バイブロで引抜き
53	×	×	○					○		φ4.6×9.8 ×0.25×9.5	不明	○		不明	不明	○			○						III			○		○					34	18	○		○		○				1988. 6	軌道下，2ロット構築，撤去も2ロット
54	×	×	○			○				5.8×6.3 ×0.2×3.1	0.80	○		不明	不明	○							○		II			○		○					4	3	○		○						1993. 8	埋戻し後バイブロで引抜き
55	×	×	○					○		φ5.4×12.2 ×0.25×6.8	0.80	○		不明	不明	○			○						III			○		○					5	4	○		○		○				1988. 6	埋戻し後バイブロで引抜き
56	×	×		○		○				9.7×9.7 ×0.2×5.0	－	○		不明	不明	○							○		II				○	○					7	3	○		○	○					1980. 3	パラペット天端に溝形鋼設置をしそこに鋼矢板を挿入した

※RC止水壁は平面寸法の後に厚さtを記入

表－2.2.1(c) 止水壁に関するアンケート回答結果一覧表⑤

件名番号	特許（有は○・無は×）	実用新案（有は○・無は×）	対象構造物 1 橋梁基礎	2 立坑	3 その他	止水壁形状 1 矩形	2 円形	3 小判形	4 その他	寸法	止水壁と橋脚との最小離隔	山留 有	山留 無	地下水位（止水壁天端からの距離）	止水壁部の土質	施工条件 1 土中	2 水中	3 その他	周辺環境 1 河川	2 海洋	3 市街地	4 その他	止水壁の材料 1 プレキャストRC	2 現場打ちRC	3 鋼矢板（II型・III型・IV型）	4 その他	本体と合体接続の方法 1 鉄筋	2 鋼棒	3 その他	止撤水去壁方の法 1 分割引上げ	2 一括引上げ	3 発破	4 油圧ブレーカー等	5 その他（静的破砕剤使用等）	工程 設置所要日数	撤去所要日数	工法選定理由 構造 撤去範囲を限定	構造 載荷重不足に対応	撤去工法 完全撤去	撤去工法 河川水質に配慮	撤去工法 工期短縮	撤去工法 騒音振動に配慮	撤去工法 経済性	撤去工法 その他	工事完了年月	備考
57	×	×	○					○		φ7.5×22.7 ×0.25×6.0	不明	○		不明	不明	○			○							III			○		○					19	8	○		○	○		○			1993. 6	埋戻し後バイブロで引抜き
58	×	×	○			○				8.7×8.7 ×0.2×6.4	1.30	○		不明	不明	○			○							II			○		○					8	8	○		○	○	○				1984. 6	クレーンで撤去
59	×	×	○			○				8.6×24.1 ×0.25×12.0	不明	○		不明	不明	○				不	明					III			○		○					−	−	○		○						1992. 1	埋戻し後バイブロで引抜き
60	×	×	○			○				8.2×27.3 ×0.31×10.5	不明	○		不明	−		○		○							IV			○		○					−	−									1987. 6	バイブロで引抜き
61	×	×	○					○		φ5.6×11.6 ×0.2×（不明）	不明	○		不明	不明	○			○							II			○	○						−	−	○					○			1987. 3	クレーンで引抜き
62	×	×	○					○		φ13.2×27.2 ×0.25×6.0	不明	○		不明	不明	○			○							III			○		○					18	9	○								1994. 9	埋戻し後バイブロで引抜き
63	×	×	○					○		φ6.1×16.1 ×0.25×5.6	不明	○		不明	不明	不	明		○							III			○		○					−	−	○					○	○		1993. 3	埋戻し後バイブロで引抜き
64	×	×	○				○			φ8.5×t×13.50	−	○		不明	不明		○		○								○			○	○	○			1	0	○								1985. 1	鋼桁をボルト接合し水平ｴﾘﾌﾄ分割撤去。転用した。
合計	5	0	61	1	2	14	18	32	0			43	20			48	12	1	51	6	3	2	5	34	23	4	24	34	6	37	10	8	17	3			34	21	34	20	26	20	9	17		



寸法：（円形）外径 厚 高 φR×t×H（矩形）B×L×t×H（小判形）φB×L×t×H

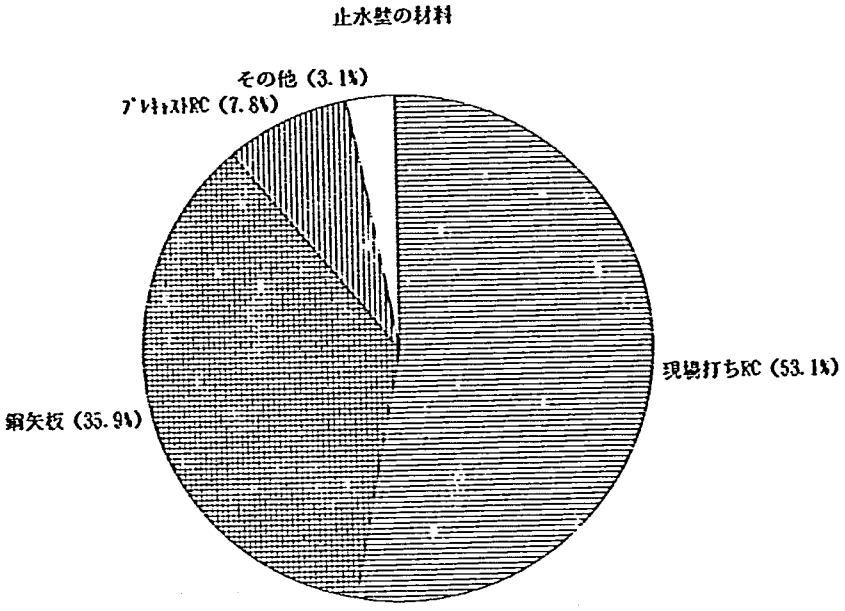
小判形の場合

※RC止水壁は平面寸法の後に厚さtを記入

①使用材料による分類【母集団：６４件】

現在、止水壁に適用されている材質としては、コンクリート（現場打ち、プレキャスト）、鋼矢板、鋼殻などがある。ここでは、プレキャストＲＣ、現場打ちＲＣ、鋼矢板およびその他の４種類に分類してまとめた。

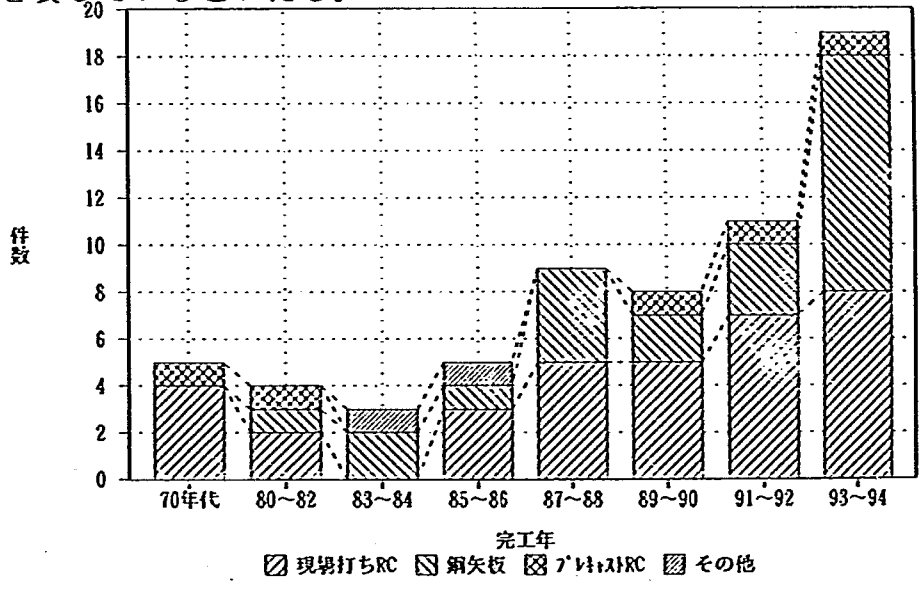
その結果、現場打ちＲＣが３４件（５３％）、鋼矢板が２３件（３６％）、プレキャストＲＣは５件（８％）であった。



図－２．２．２　止水壁の使用材料（ﾃﾞｰﾀ数：６４件）

②工事完了年による分類【母集団：６４件】

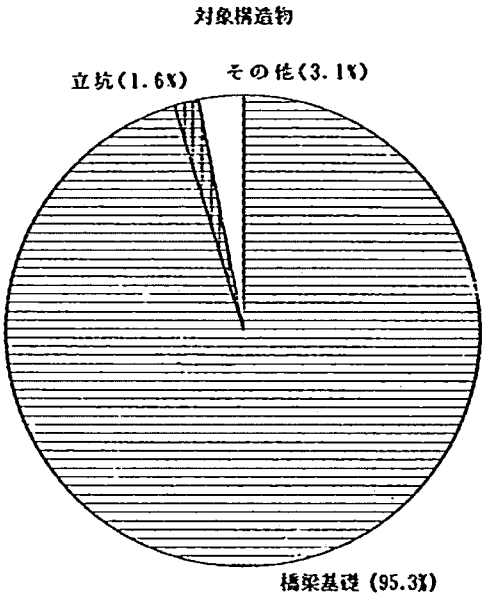
回答を得た６４件の内、９０年代に完工されたものは約半数（３３件）で、使用材料は現場打ちＲＣが１７件（５２％）、鋼矢板が１３件（３９％）、プレキャストＲＣが１件であり、上記の使用材料による分類は、ほぼ最近の傾向を表しているといえる。



図－２．２．３　工事完了年別のデータ件数（ﾃﾞｰﾀ数：６４件）

③対象構造物による分類【母集団：６４件】

全体の９５％が橋梁基礎に使用され、立坑に使用されたのは僅か１件であった。

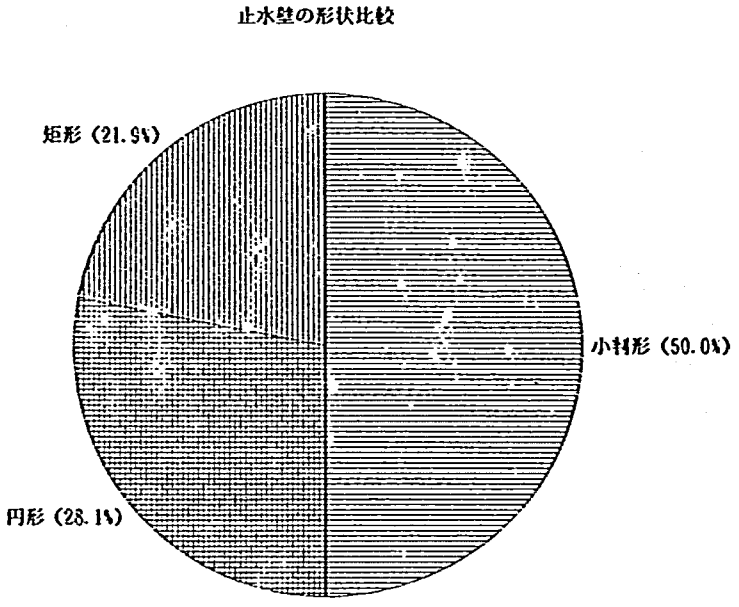


図－２．２．４　対象構造物（ﾃﾞｰﾀ数：６４件）

2．2．2　調査結果

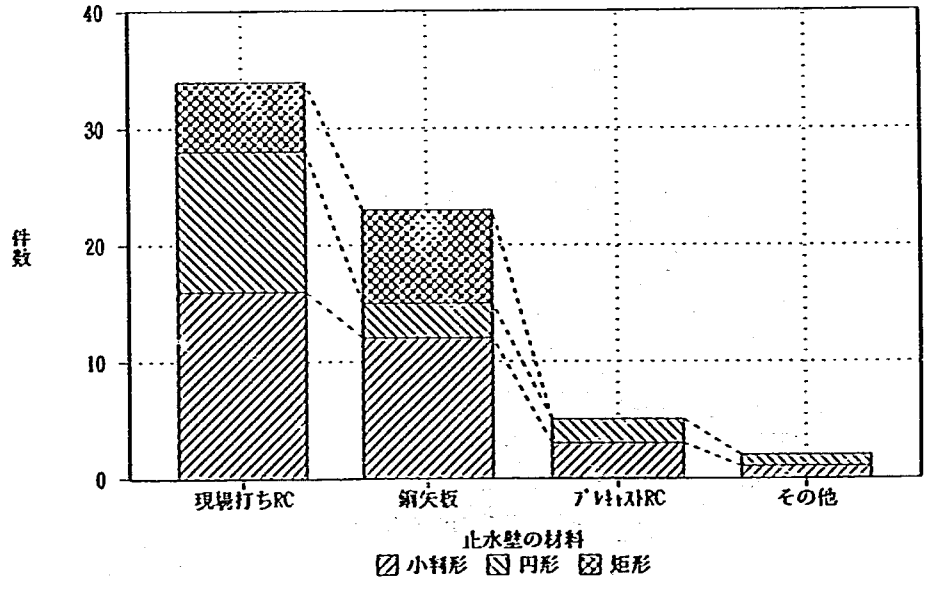
(1)止水壁の形状【母集団：６４件】

止水壁の形状は５０％が小判形をしており、円形、矩形がそれぞれ約１/４であった。これは、橋脚基礎の形状に依存するものと考えられる。



図－２．２．５　止水壁の形状①（ﾃﾞｰﾀ数：６４件）

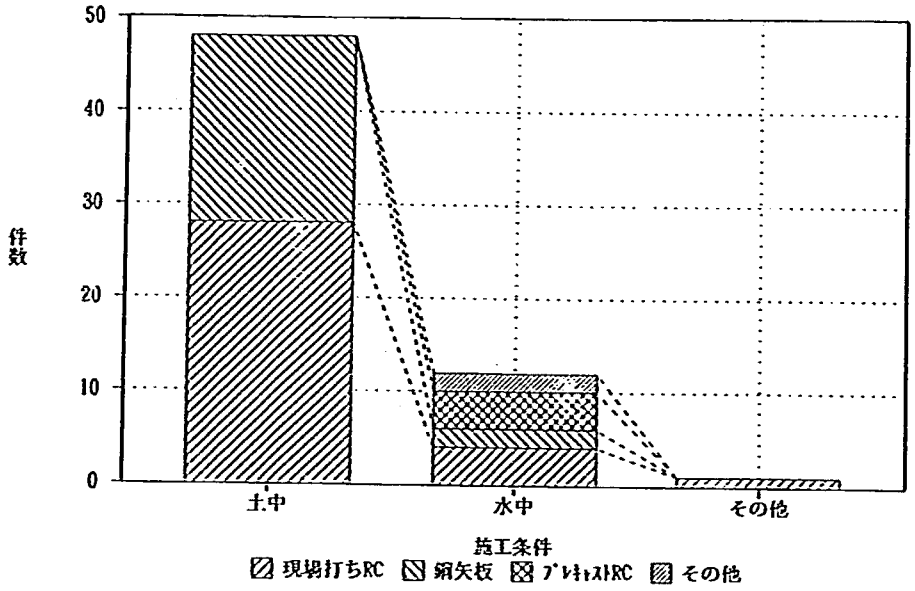
止水壁の形状を使用材料別にみてみると、現場打ちＲＣは小判形が１６件、円形が１２件とほぼ同数であり、矩形は６件と少ない。これに対し、鋼矢板は小判形が１２件で、円形より矩形の止水壁に多く用いられている。これは、矩形の場合鋼矢板の方が設置、撤去の施工性がよいためと推察される。



図－２．２．６　止水壁の形状②（材料別）（ﾃﾞｰﾀ数：６４件）

(2)止水壁の施工条件【母集団：６１件】

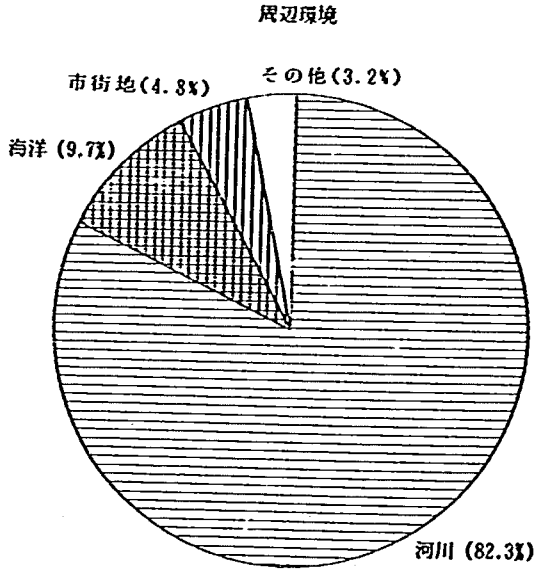
止水壁の設置、撤去は土中すなわち気中で施工された事例が多い。プレキャストＲＣについては、全て水中で施工されていた。



図－２．２．７　施工条件（ﾃﾞｰﾀ数６１件）

(3)周辺環境【母集団：６２件】

殆どが橋梁基礎に用いられているため、河川での施工が約８０％と多く、海洋が１０％、市街地では５％であった。



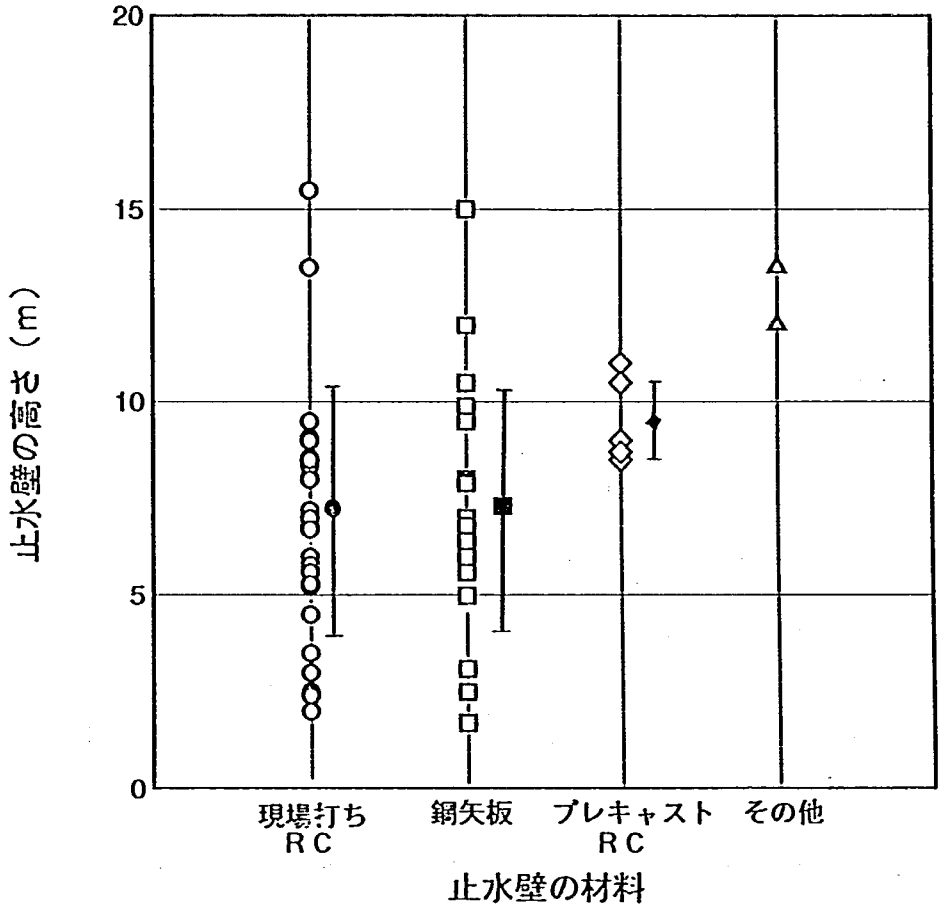
図－２．２．８　周辺環境（ﾃﾞｰﾀ数６２件）

(4)止水壁の高さ

①止水壁の高さと使用材料の関係【母集団：６２件】

止水壁高さの平均は現場打ちＲＣと鋼矢板が同等で、プレキャストＲＣが最も大きくなった。現場打ちＲＣは比較的低い止水壁に、プレキャストは１０ｍ前後の高い止水壁に使用されている。

現場打ちＲＣと鋼矢板はバラツキが大きい。

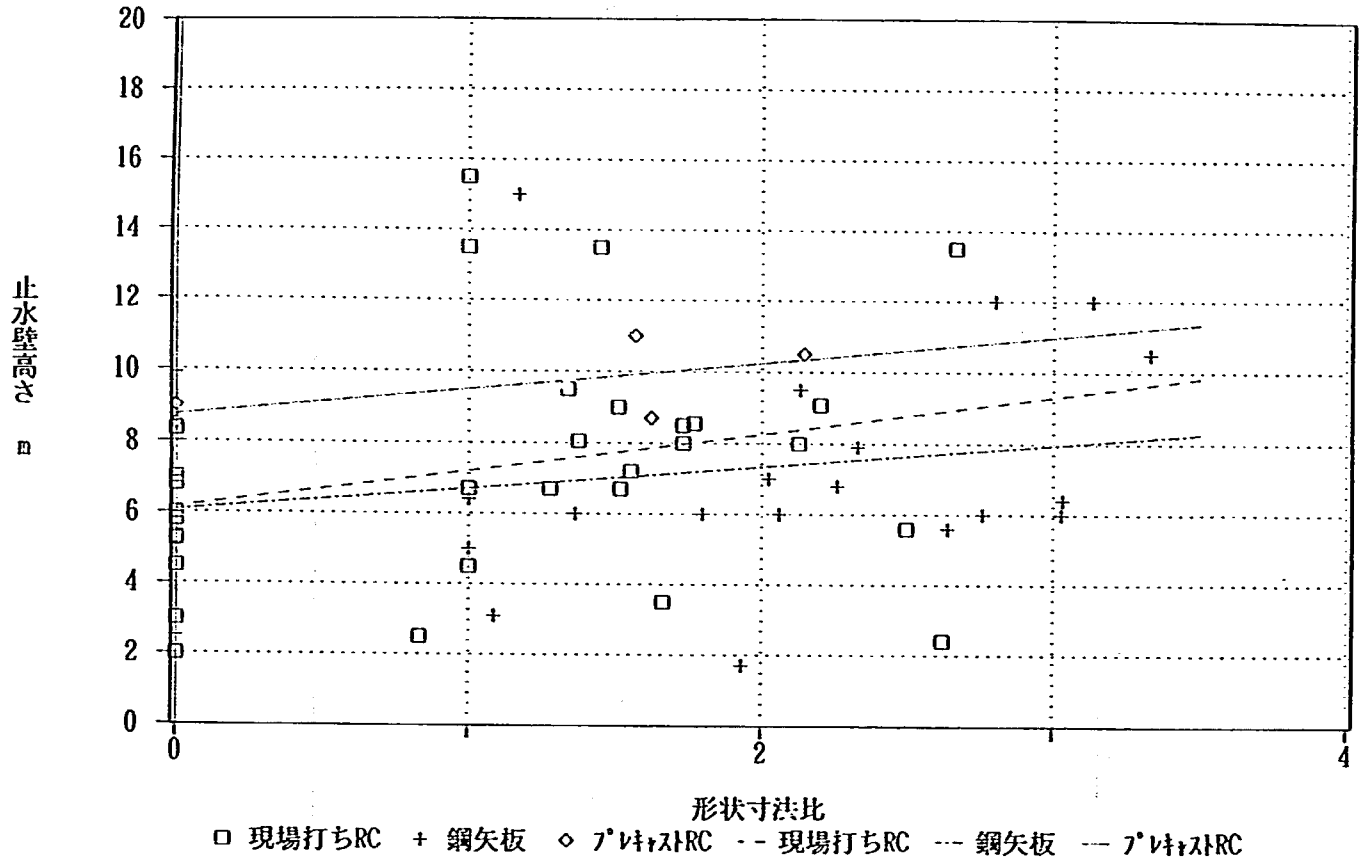


	平均値(m)	標準偏差(m)	標準偏差の範囲内に入る比率
現場打ちRC	7.2	3.207	73%
鋼矢板	7.2	3.139	68
ﾌﾟﾚｷｬｽﾄRC	9.5	1.013	80
その他	———	———	———

図－２．２．９　止水壁の材料と高さの関係（ﾃﾞｰﾀ数：６２件）

②止水壁の高さと形状寸法比（L/B）の関係【母集団：６２件】

バラツキが大きく相関性は小さい。



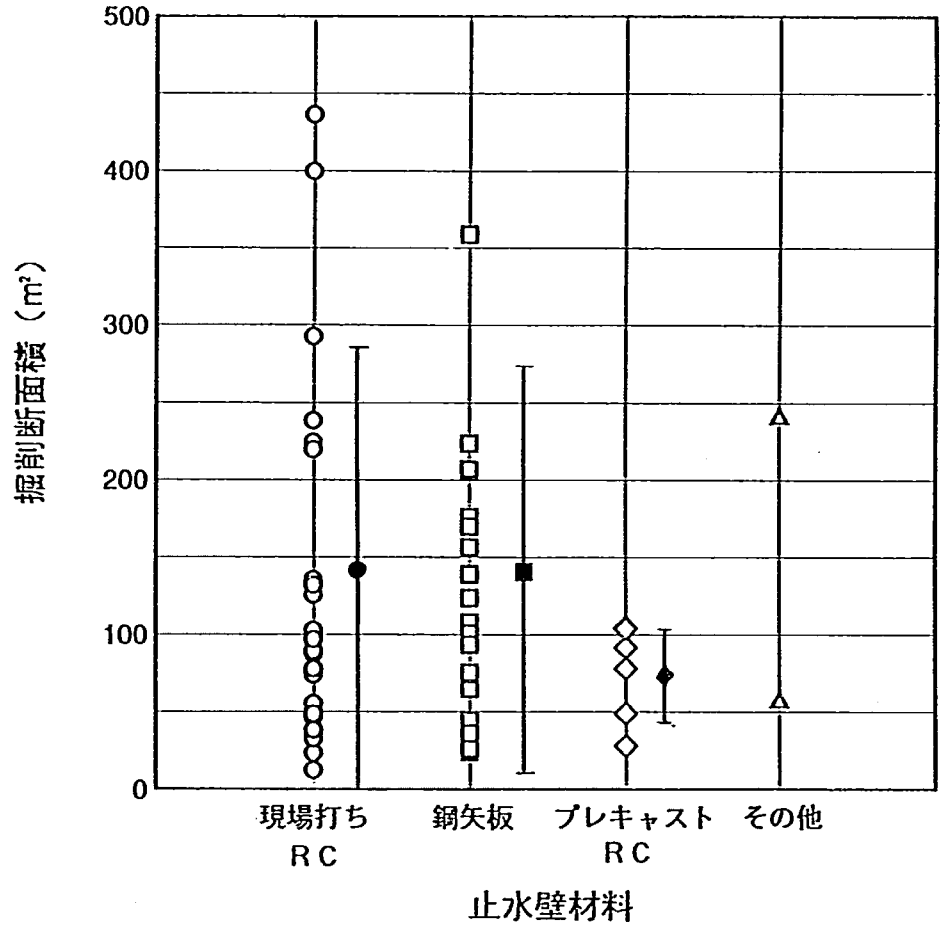
	関　係　式	相関係数
現場打ちRC	Y=1.051X+6.147	0.290
鋼矢板	Y=0.631X+6.069	0.659
ﾌﾟﾚｷｬｽﾄRC	Y=0.747X+8.743	0.202
その他	——— ———	———

図－２．２．１０　止水壁の高さと形状寸法比の関係（ﾃﾞｰﾀ数：６２件）

(5)ケーソンの掘削断面積と使用材料【母集団：６４件】

ケーソン内の掘削面積の平均は鋼矢板と現場打ちＲＣがほぼ同等で、プレキャストＲＣが最も小さい。

現場打ちＲＣは、１５０m²以下の使用実績が多く、鋼矢板は５０～２００m²の範囲でばらついている。プレキャストＲＣは１００m²以下の掘削面積で使用されている。



	平均値(m²)	標準偏差(m²)	標準偏差の範囲内に入る比率
現場打ちRC	142.2	143.5	88%
鋼矢板	141.5	132.9	91
ﾌﾟﾚｷｬｽﾄRC	73.0	30.3	40
その他	———	———	———

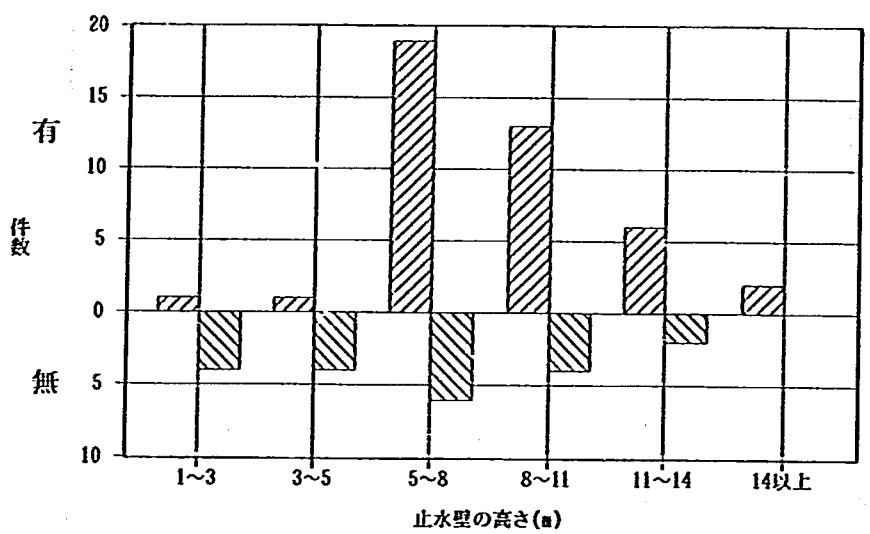
図－２．２．１１　ケーソンの掘削断面積と使用材料の関係（ﾃﾞｰﾀ数：６４件）

以上の結果からは、現場打ちＲＣは止水壁高さは低いが、ケーソン掘削面積の大きい場合に、逆にプレキャストＲＣは掘削面積は小さいが高さの高い場合に使用されている傾向があるようである。プレキャストＲＣは現場打ちＲＣと比較して、設置コストが高いが、撤去時の施工性が高いことが主な理由と考えられる。

(6)止水壁の支保工

①支保工の有無と止水壁高さの関係【母集団：６３件】

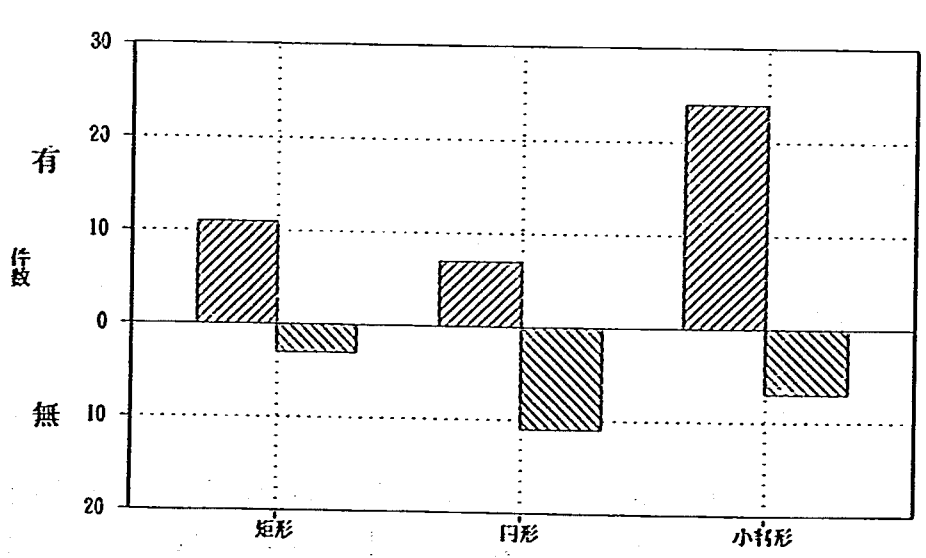
止水壁の高さが５ｍ程度までは支保工無しが多く、それ以上になると支保工が設置される件数が多くなっている。また、５ｍ以上で支保工を用いない施工事例は、その形状が円形かあるいは小判形であった。



図－２．２．１２　止水壁の高さと支保工の有無（ﾃﾞｰﾀ数：６３件）

② 支保工の有無と止水壁形状の関係【母集団：６３件】

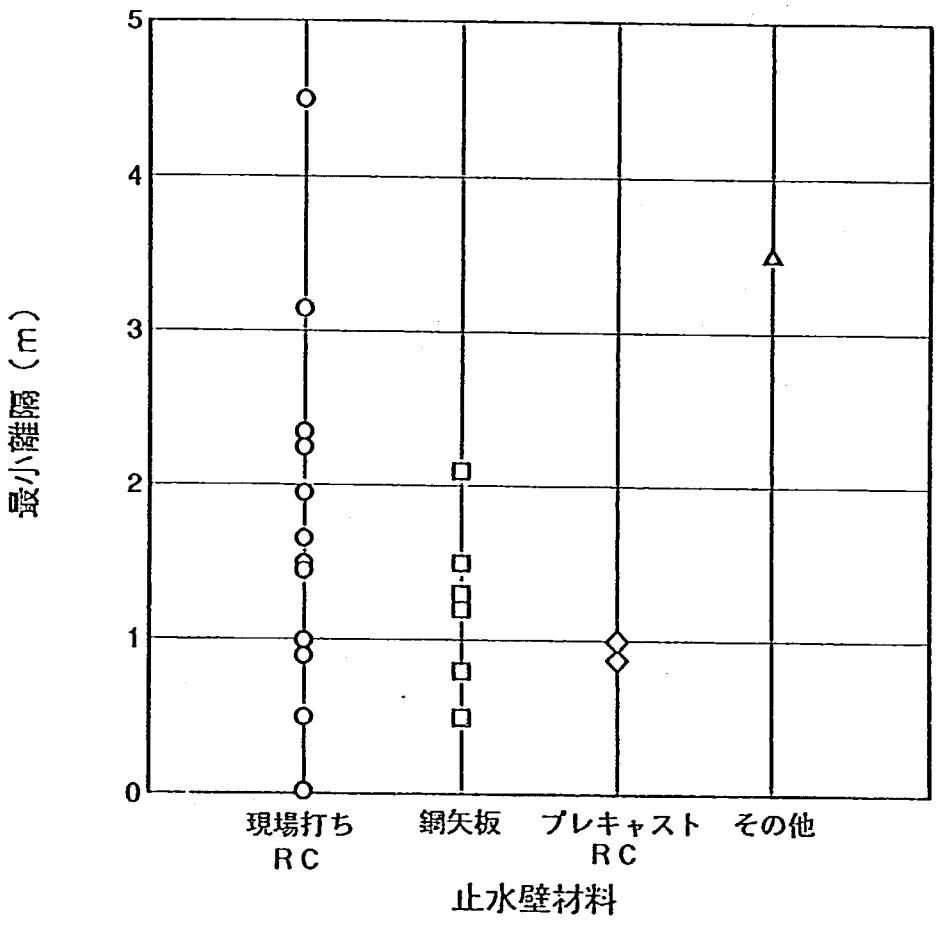
円形では、支保工無しが多く、小判形、矩形では支保工が設置される件数が多い。



図－２．２．１３　止水壁の形状と支保工の有無（ﾃﾞｰﾀ数：６３件）

(7)止水壁と橋脚との最小離隔【母集団：２７件】

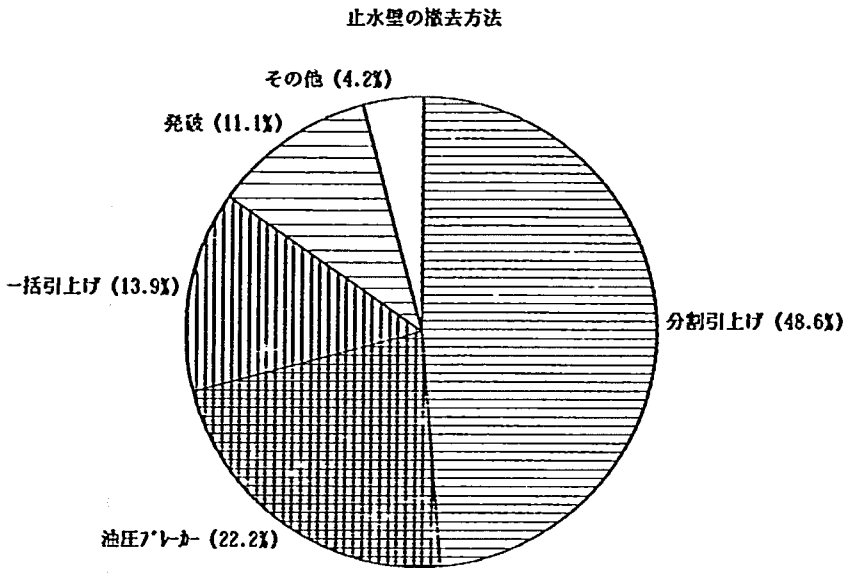
現場打ちＲＣと鋼矢板は橋脚本体との離隔が０．５～２ｍの間でばらつき、プレキャストＲＣの場合はデータ数は少ないもののほぼ１ｍ程度であった。



図－２．２．１４　止水壁と橋脚との最小離隔（ﾃﾞｰﾀ数：２７件）

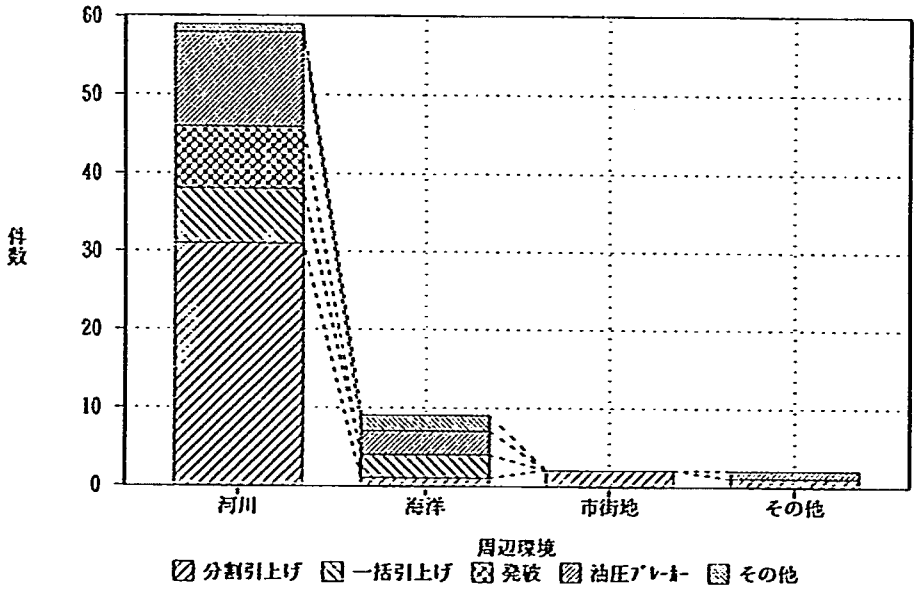
(8)止水壁の撤去方法【母集団：７２件（複数回答有り）】

撤去方法の約半数が分割引上げで、以下油圧ブレーカ、一括引上げ、発破の順であった。



図－２．２．１５　止水壁の撤去方法（ﾃﾞｰﾀ数：７２件）

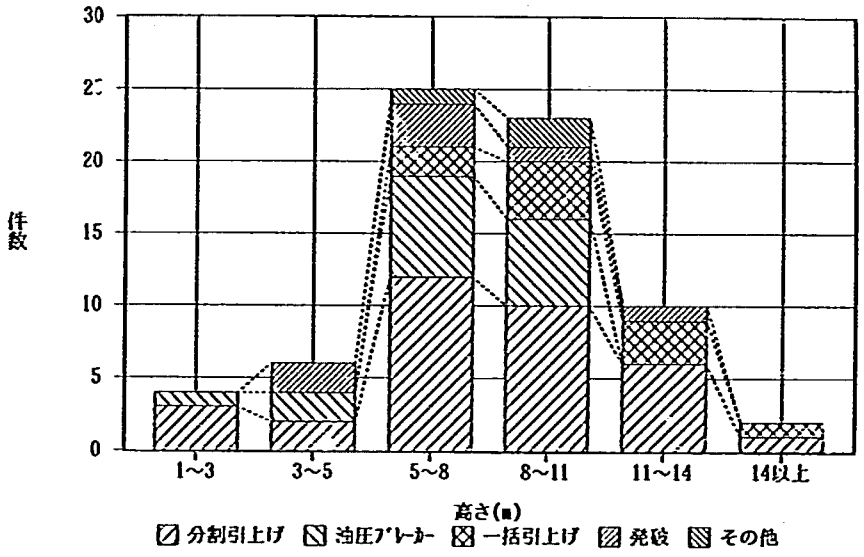
①撤去方法と周辺環境の関係【母集団：７２件（複数回答有り）】



図－２．２．１６　撤去方法と周辺環境の関係（ﾃﾞｰﾀ数：７２件）

②撤去方法と止水壁高さの関係【母集団：７２件（複数回答有り）】

止水壁高さと撤去方法には関連がみられない。

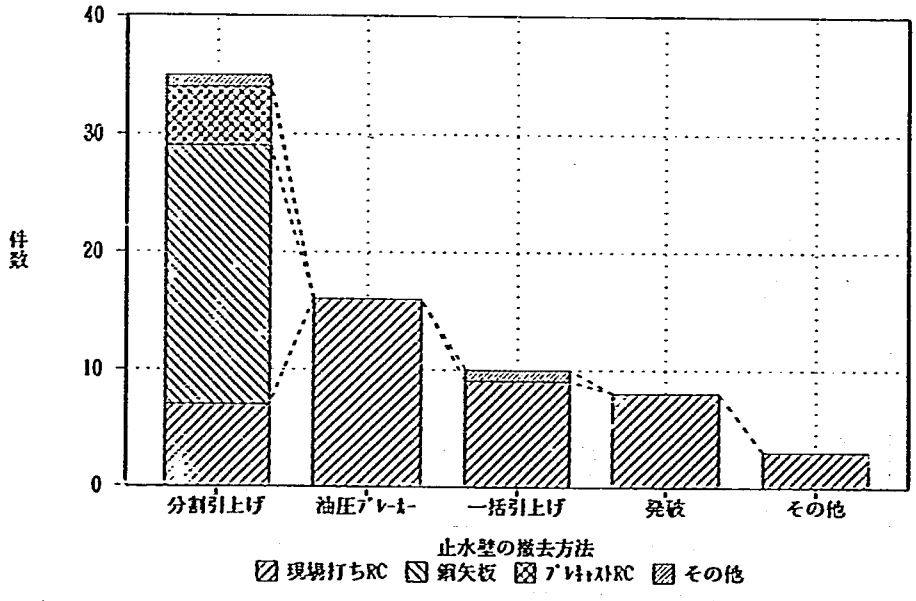


図－２．２．１７　撤去方法と止水壁高さの関係（ﾃﾞｰﾀ数：７２件）

③撤去方法と使用材料の関係【母集団：７２件（複数回答有り）】

現場打ちＲＣは油圧ブレーカーによる破砕方法が最も多く、発破による方法も含め、小割にして撤去する方法が多用されていた。

鋼矢板は全て分割引上げで撤去されており、プレキャストＲＣも殆どが分割引上げで撤去されていた。これは、両者とも水平継手を有しており、継手を解体して撤去する方法をとったものと考えられる。

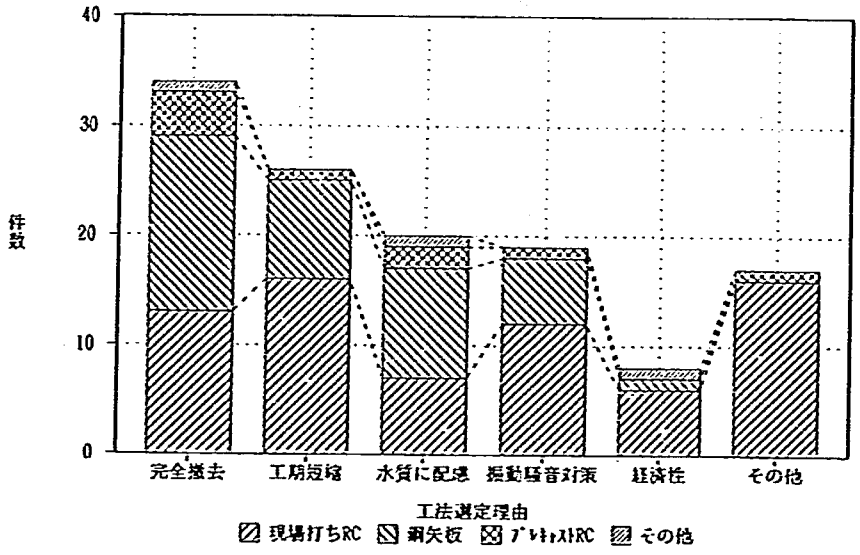


図－２．２．１８　撤去方法と使用材料の関係（ﾃﾞｰﾀ数：７２件）

④撤去工法の選定理由

a)選定理由による分類【母集団：１２４件（複数回答有り）】

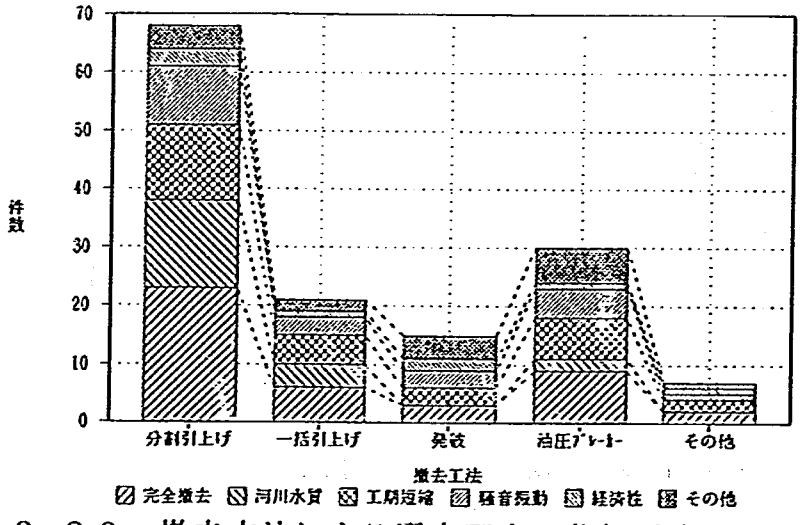
選定理由としては、止水壁の完全撤去（３４件）が最も多く、続いて工期（設置、撤去期間）の短縮（２６件）であった。また、荷重への対応（沈設時のケーソン自重の増加）、水質への配慮（水質汚染の防止）、振動騒音対策がほぼ同数であった。これを使用材料別にみると、現場打ちＲＣの選定理由は工期の短縮、荷重に対応、完全撤去がほぼ同数であった。鋼矢板の選定理由は完全撤去、水質に配慮が多くなっていた。また、プレキャストＲＣの選定理由は完全撤去が多少多い他は、ほぼ同数であった。なお、経済性を選定理由に挙げたのは、ほとんどが現場打ちＲＣであった。



図－２．２．１９　使用材料と選定理由の関係（ﾃﾞｰﾀ数：１２４件）

b)撤去工法による分類【母集団：１２４件（複数回答有り）】

一括引上げと分割引上げの選定理由の間に特に違った傾向はみられず、他の工法についても同様であった。

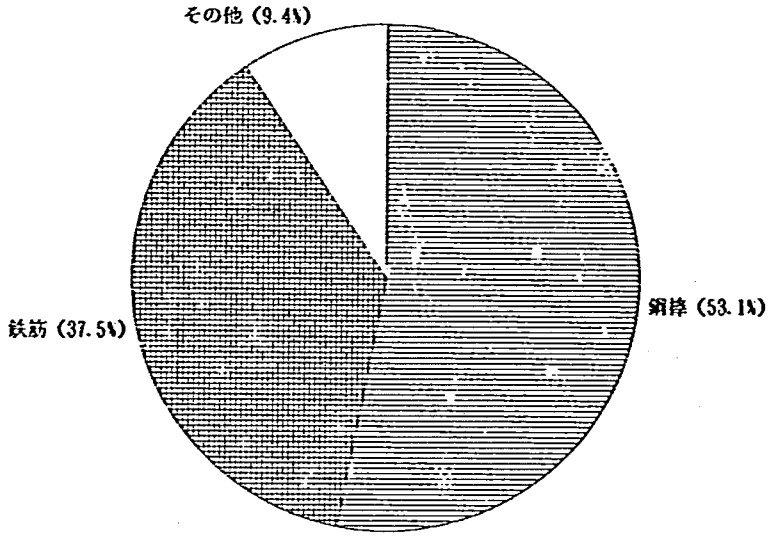


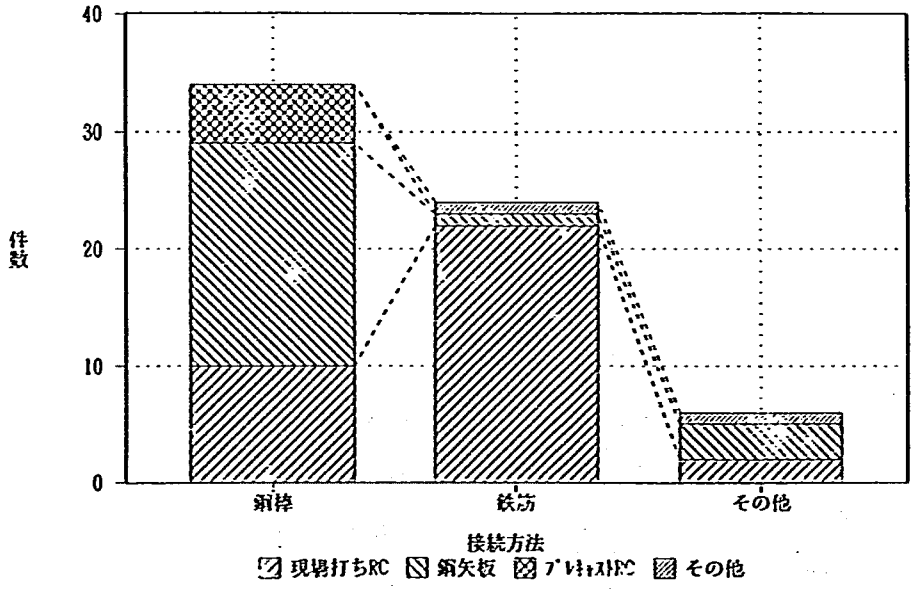
図－２．２．２０　撤去方法による選定理由の分類（ﾃﾞｰﾀ数：１２４件）

(9)止水壁と本体の接続方法【母集団：６４件】

本調査では鋼棒方式による接続が３４件（５３％）と最も多く、鉄筋方式は２４件（３８％）であった。

使用材料別にみると、現場打ちＲＣは鉄筋方式が７０％程度、鋼矢板は鋼棒方式が８０％以上であり、プレキャストＲＣは全て鋼棒方式で接続されていた。また、プレキャストＲＣは全て鋼棒によって接続されている。

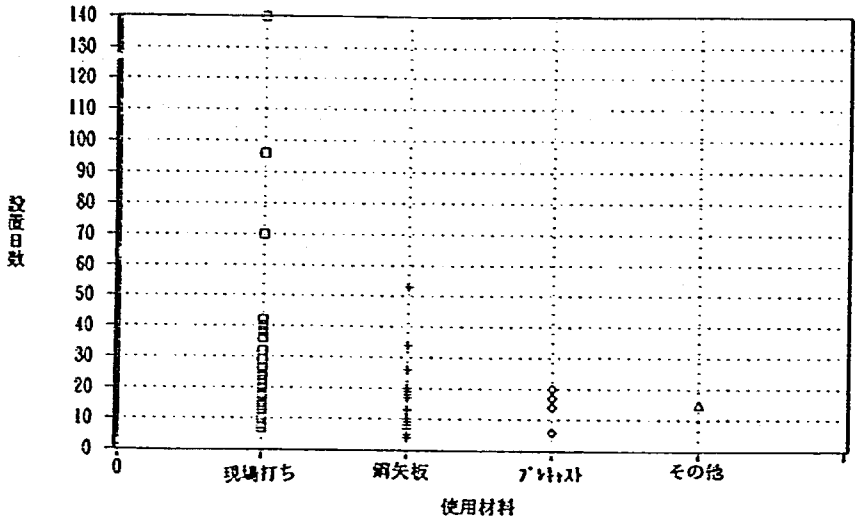




図－２．２．２１　止水壁と本体の接続方法（ﾃﾞｰﾀ数：６４件）

(10)止水壁の設置日数

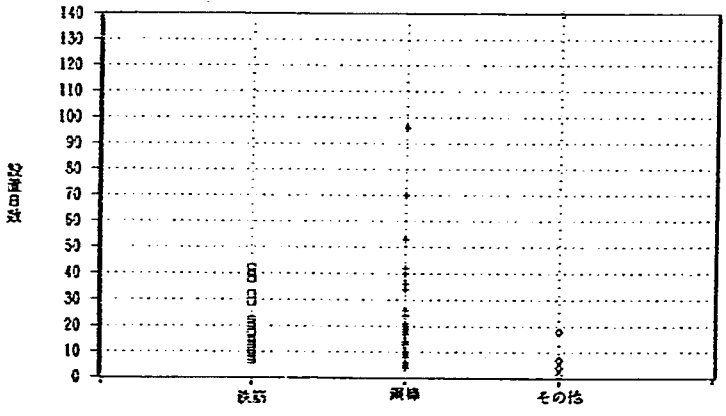
①使用材料によるによる分類【母集団：５９件】



	平均値(日)	標準偏差(日)
現場打ちRC	28.9	26.8
鋼矢板	15.1	12.0
ﾌﾟﾚｷｬｽﾄRC	14.3	5.2
その他	―――	―――

図－２．２．２２　使用材料による撤去日数の分類（ﾃﾞｰﾀ数：５９件）

②本体との接続方法による分類【母集団：５９件】



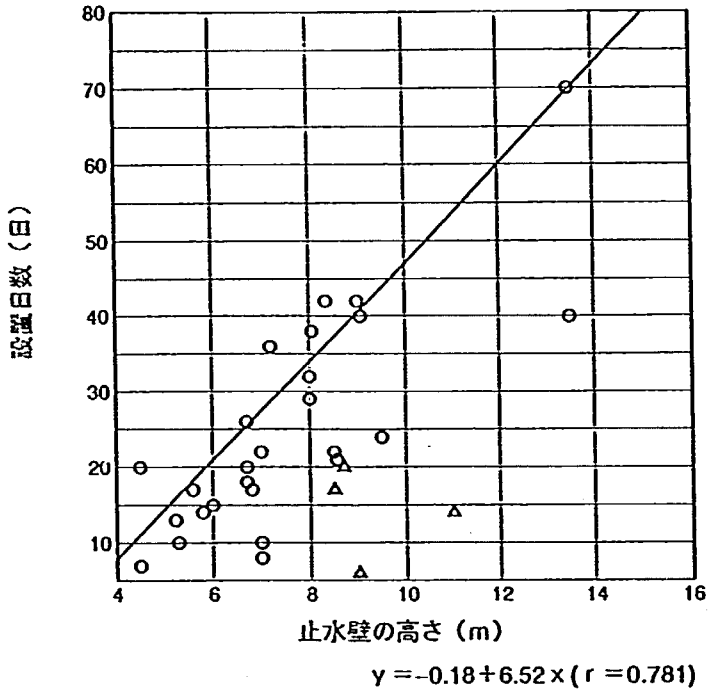
	平均値(日)	標準偏差(日)
鉄筋	18.4	10.3
鋼棒	23.8	19.9
その他	34.0	53.3

図－２．２．２３　本体との接続方法による撤去日数の分類（ﾃﾞｰﾀ数：５９件）

③設置日数と止水壁高さの関係

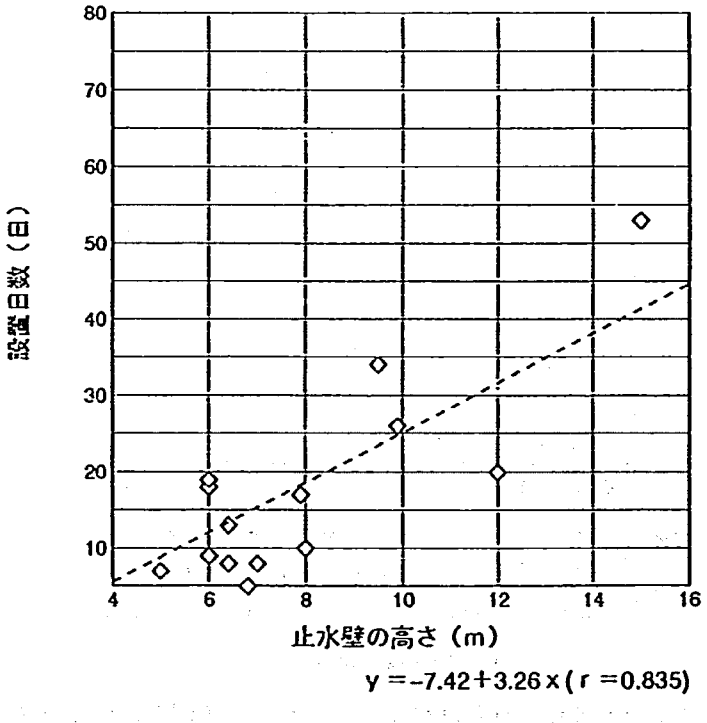
鋼矢板、現場打ちＲＣでは、止水壁高さと比較的高い相関が見られた。

a)現場打ちＲＣ【母集団：３４件】



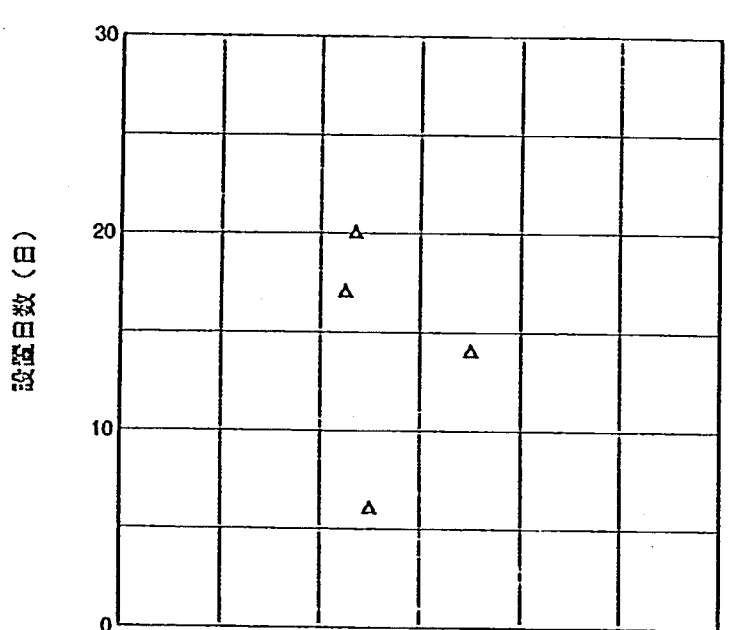
図－２．２．２４　設置日数と止水壁高さの関係①（場所打ちＲＣ、ﾃﾞｰﾀ数：３４件）

b)鋼矢板【母集団：１９件】



図－２．２．２５　設置日数と止水壁高さの関係②（鋼矢板、ﾃﾞｰﾀ数：１９件）

c)プレキャストＲＣ【母集団：４件】



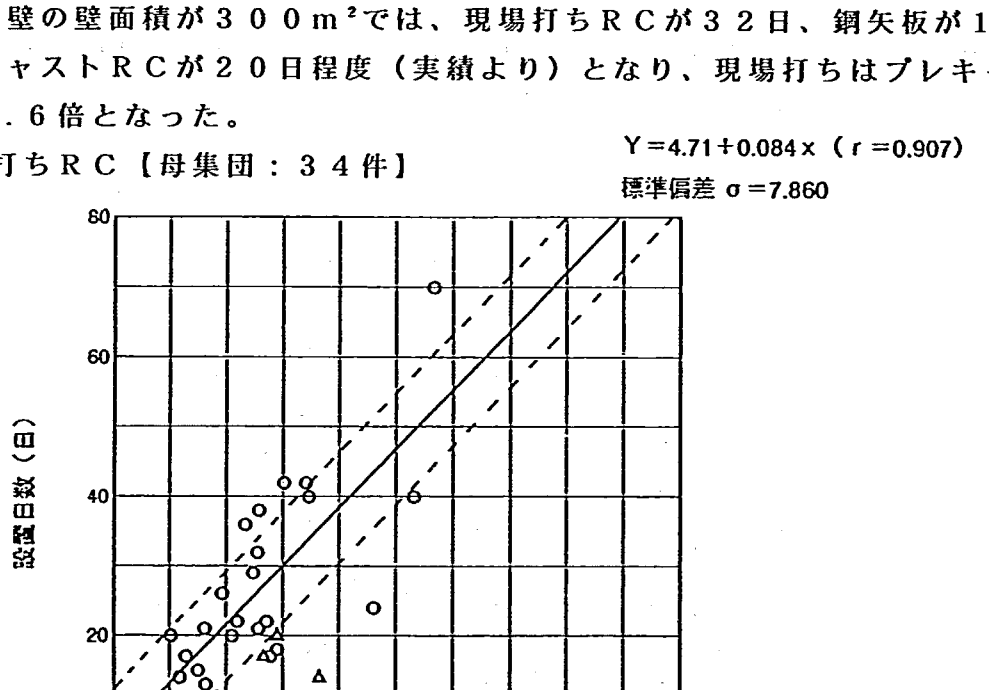
図－２．２．２６　設置日数と止水壁高さの関係③（プレキャストＲＣ、ﾃﾞｰﾀ数：４件）

④設置日数と止水壁の壁面積の関係

鋼矢板では、止水壁の壁面積と高い相関がみられた。

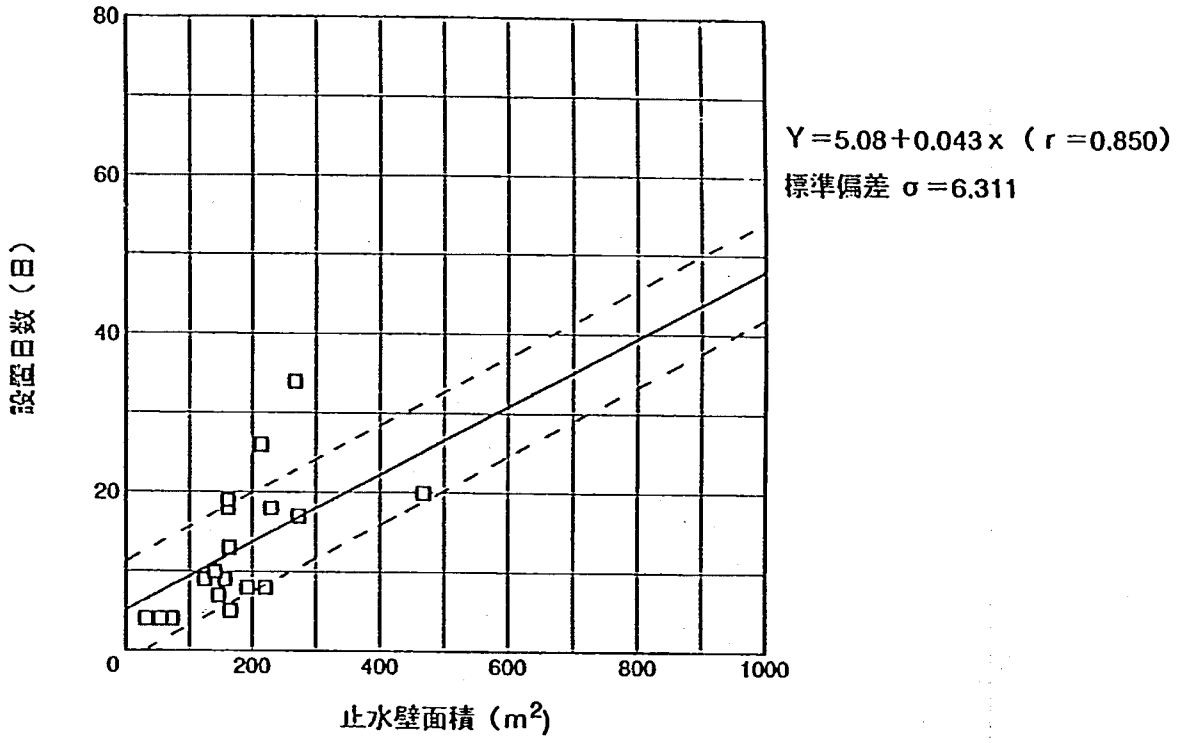
止水壁の壁面積が３００ｍ²では、現場打ちＲＣが３２日、鋼矢板が１８日、プレキャストＲＣが２０日程度（実績より）となり、現場打ちはプレキャストの約１．６倍となった。

a)現場打ちＲＣ【母集団：３４件】



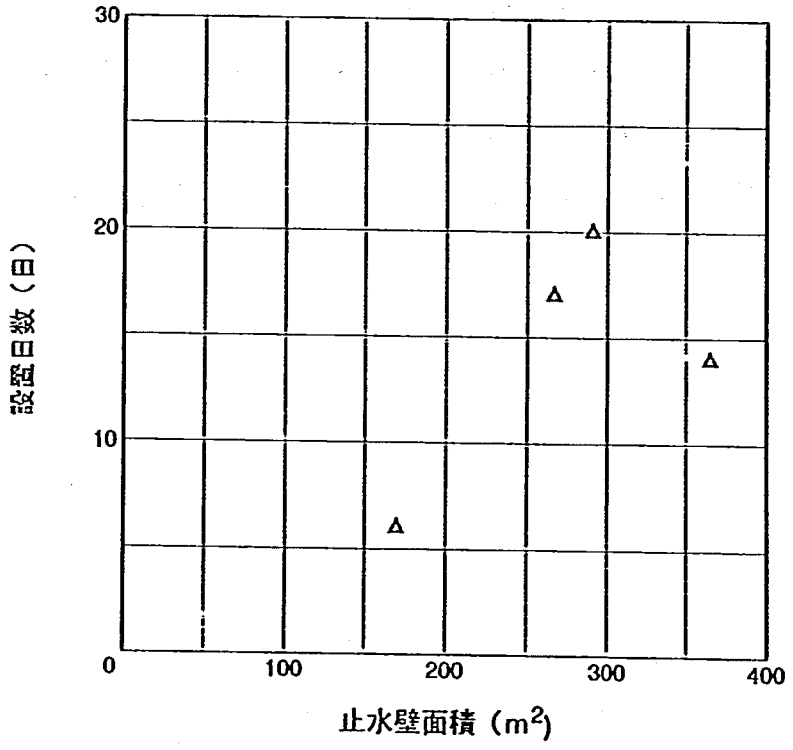
図－２．２．２７　設置日数と止水壁の壁面積との関係①（現場打ちＲＣ、ﾃﾞｰﾀ数：34件）

b)鋼矢板【母集団：１９件】



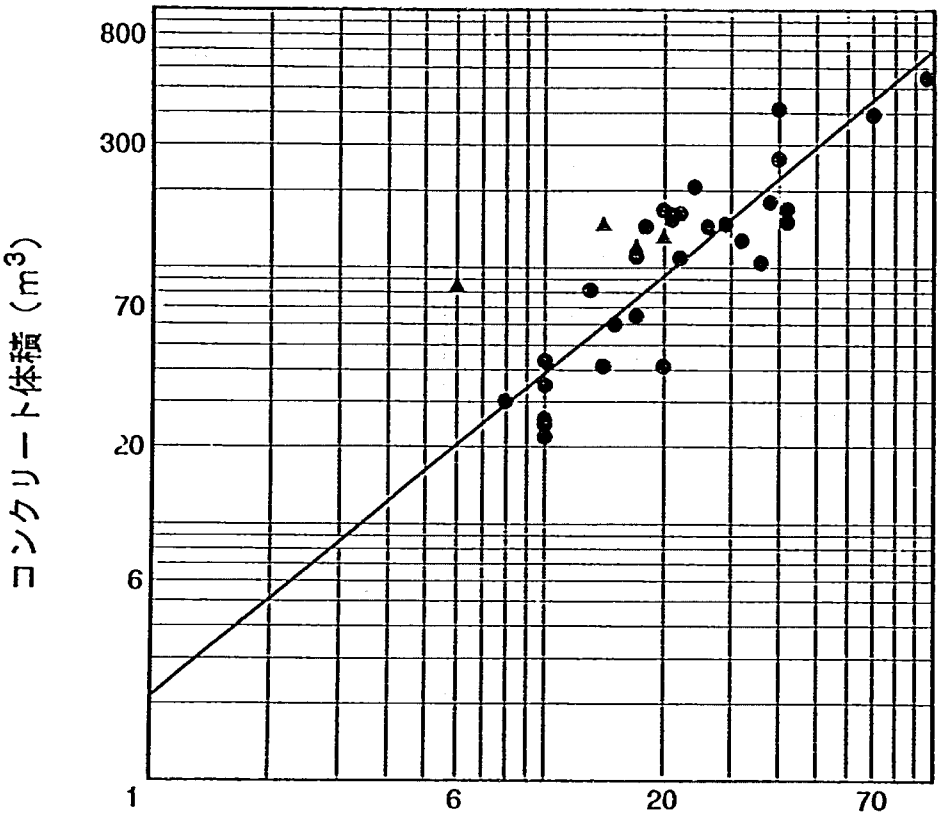
図－２．２．２８　設置日数と止水壁の壁面積との関係②（鋼矢板、ﾃﾞｰﾀ数：１９件）

c)プレキャストＲＣ【母集団：４件】



図－２．２．２９　設置日数と止水壁の壁面積との関係③（ﾌﾟﾚｷｬｽﾄRC、ﾃﾞｰﾀ数：４件）

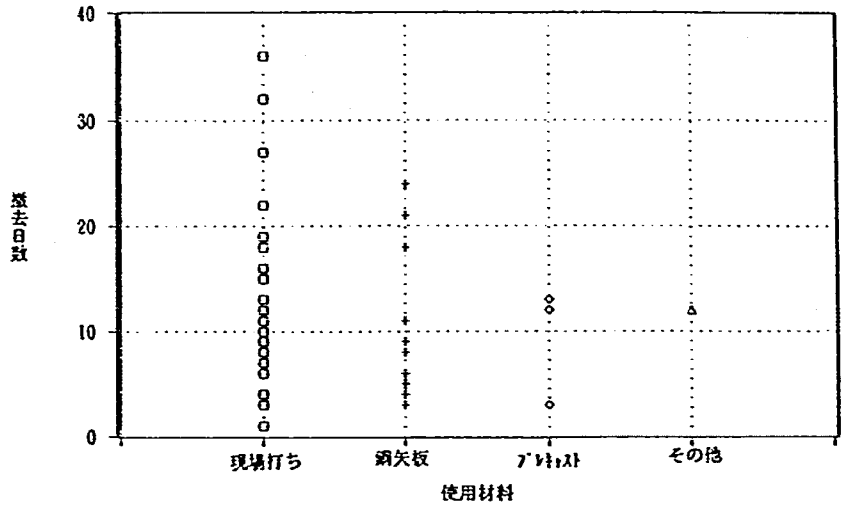
⑤設置日数とＲＣ止水壁体積（コンクリート体積）の関係【母集団：３７件】
コンクリート体積と設置日数には高い相関がみられた。



図－２．２．３０　設置日数とＲＣ止水壁体積の関設（ﾃﾞｰﾀ数：３７件）

(11)止水壁の撤去日数

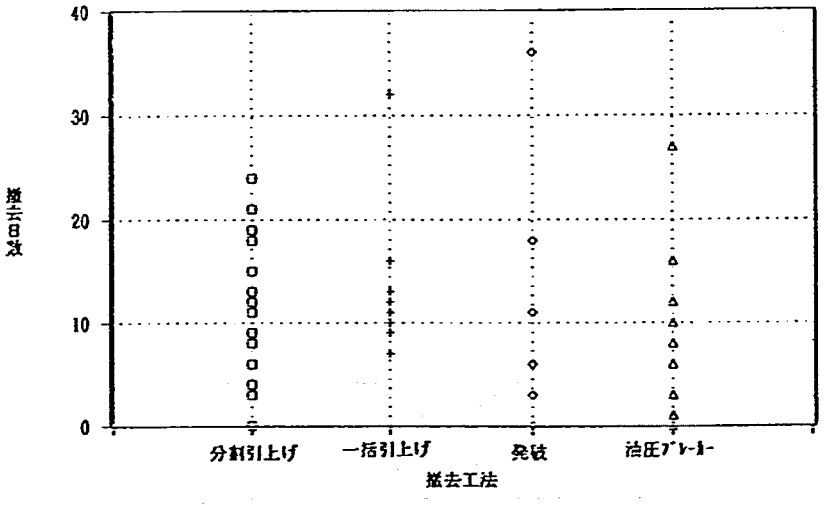
①使用材料による分類【母集団：５６件】



	平均値(日)	標準偏差(日)
現場打ちRC	12.5	8.0
鋼矢板	8.6	5.9
ﾌﾟﾚｷｬｽﾄRC	10.3	4.2
その他	———	———

図－２．２．３１　使用材料による撤去日数の分類（ﾃﾞｰﾀ数：５６件）

②撤去工法による分類【母集団：５６件】



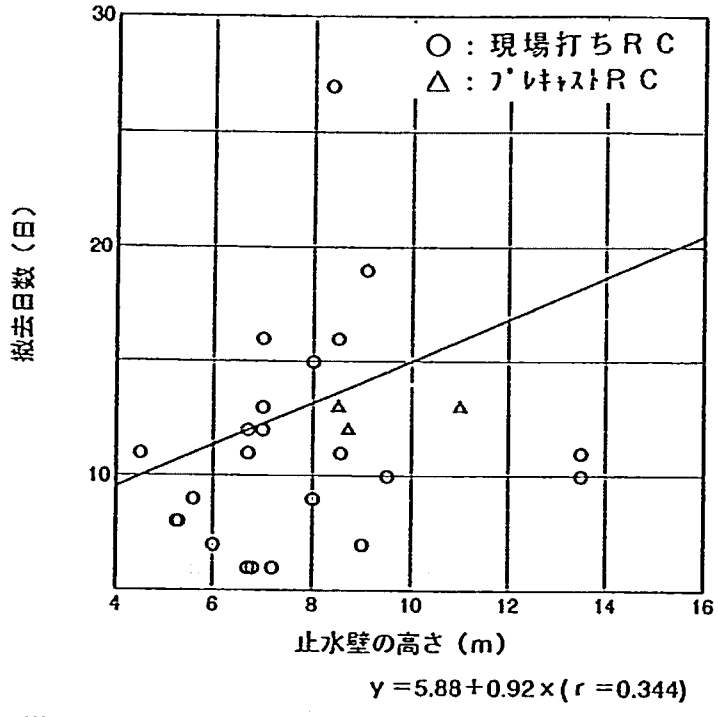
	平均値(日)	標準偏差(日)
分割	9.6	5.7
一括	13.2	7.1
発破	13.0	10.4
ﾌﾞﾚｰｶｰ	10.1	7.3

図－２．２．３２　撤去工法による撤去日数の分類（ﾃﾞｰﾀ数：５６件）

①撤去日数と止水壁高さの関係

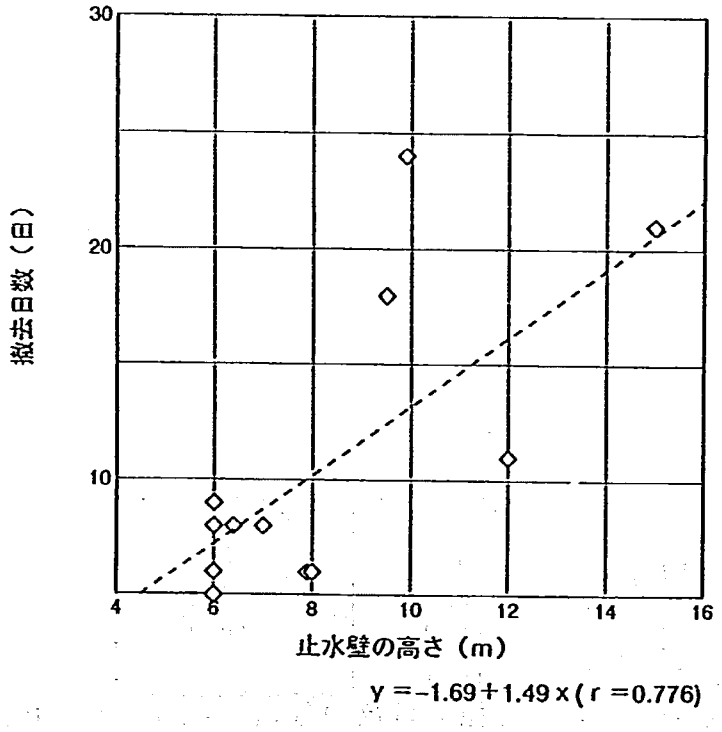
鋼矢板では撤去日数と止水壁高さに比較的高い相関が見られた。

a)現場打ちＲＣ【母集団：３１件】



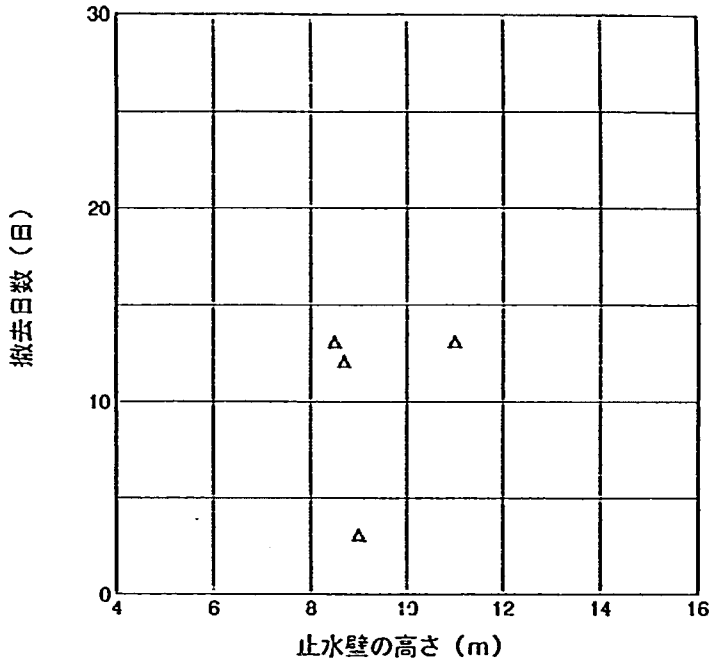
図－２．２．３３　撤去日数と止水壁高さの関係（現場打ちＲＣ、ﾃﾞｰﾀ数：３１件）

b)鋼矢板【母集団：１９件】



図－２．２．３４　撤去日数と止水壁高さの関係（鋼矢板、ﾃﾞｰﾀ数：１９件）

c)プレキャストＲＣ【母集団：４件】

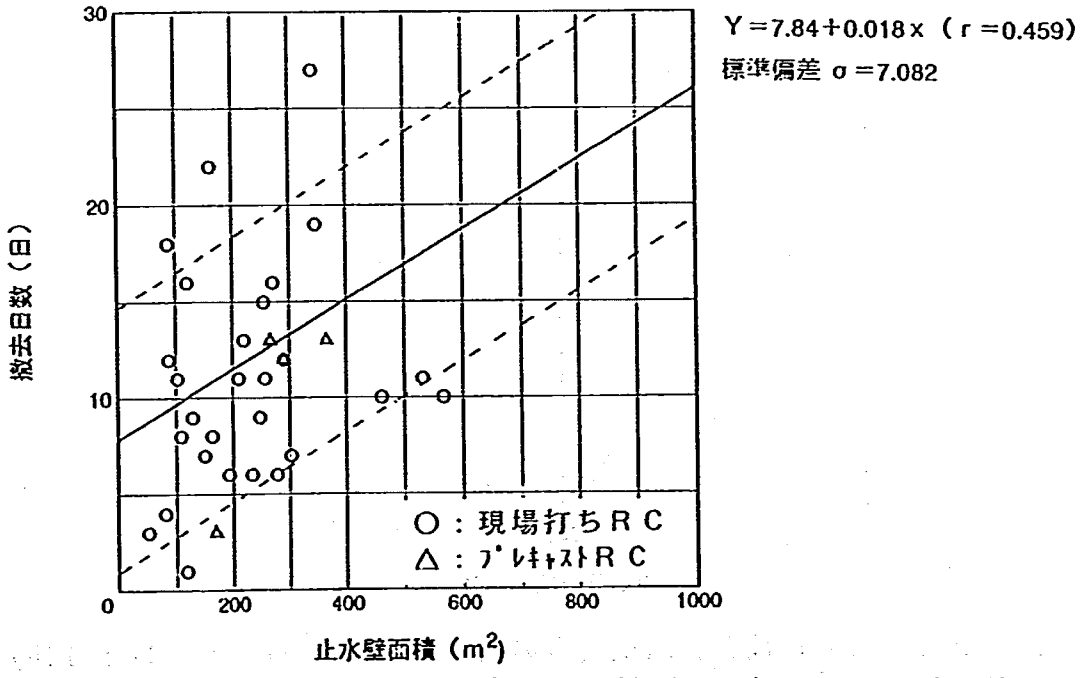


図－２．２．３５　撤去日数と止水壁高さの関係（ﾌﾟﾚｷｬｽﾄRC、ﾃﾞｰﾀ数：４件）

②撤去日数と止水壁の壁面積の関係

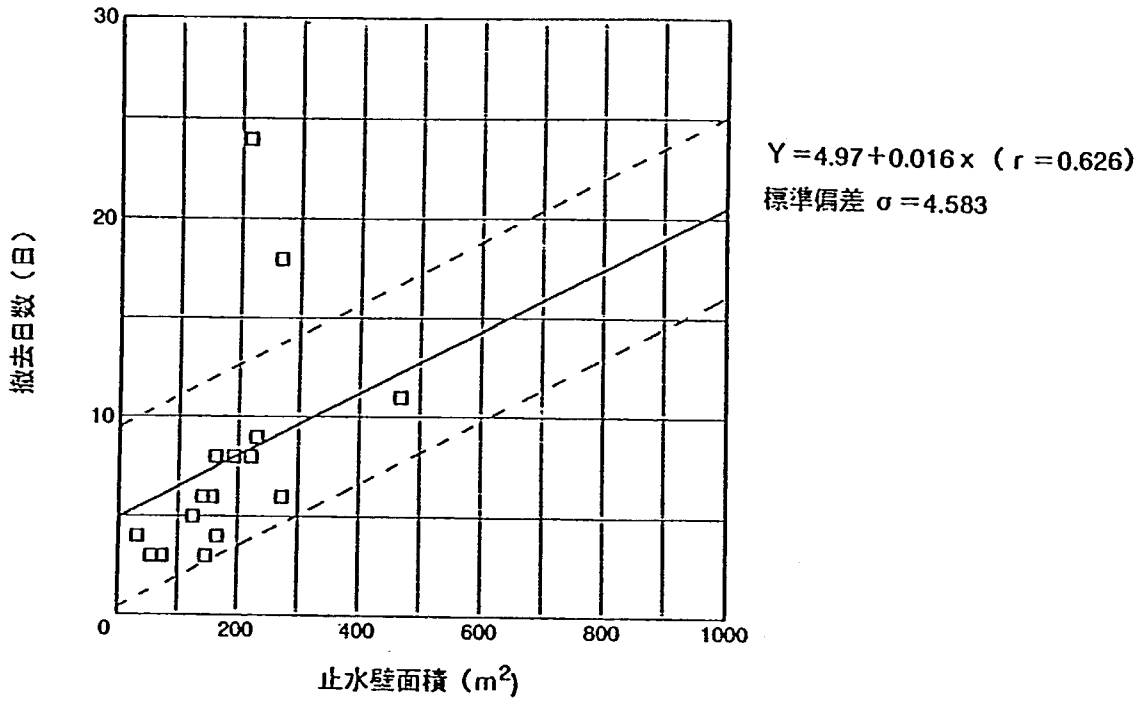
現場打ちＲＣでは壁面積と撤去日数に比例関係の傾向がある。鋼矢板は壁面積との関連は少なく、殆ど１０日以内で撤去している。これは、一日当たりに撤去量が多く、日数に大きな差が生じなかったものと考えられる。

a)現場打ちＲＣ【母集団：３１件】



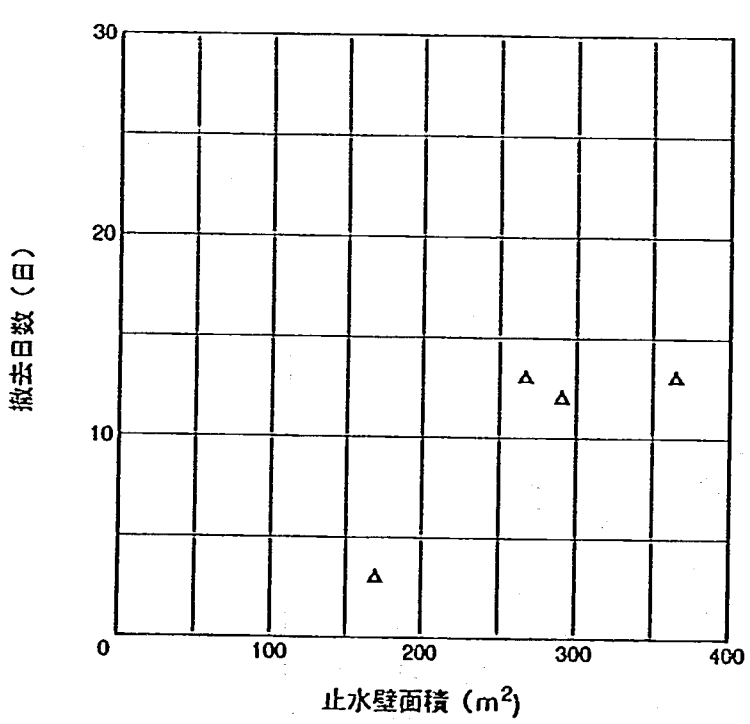
図－２．２．３６　撤去日数と止水壁高さの関係（現場打ちＲＣ、ﾃﾞｰﾀ数：３１件）

b)鋼矢板【母集団：１９件】



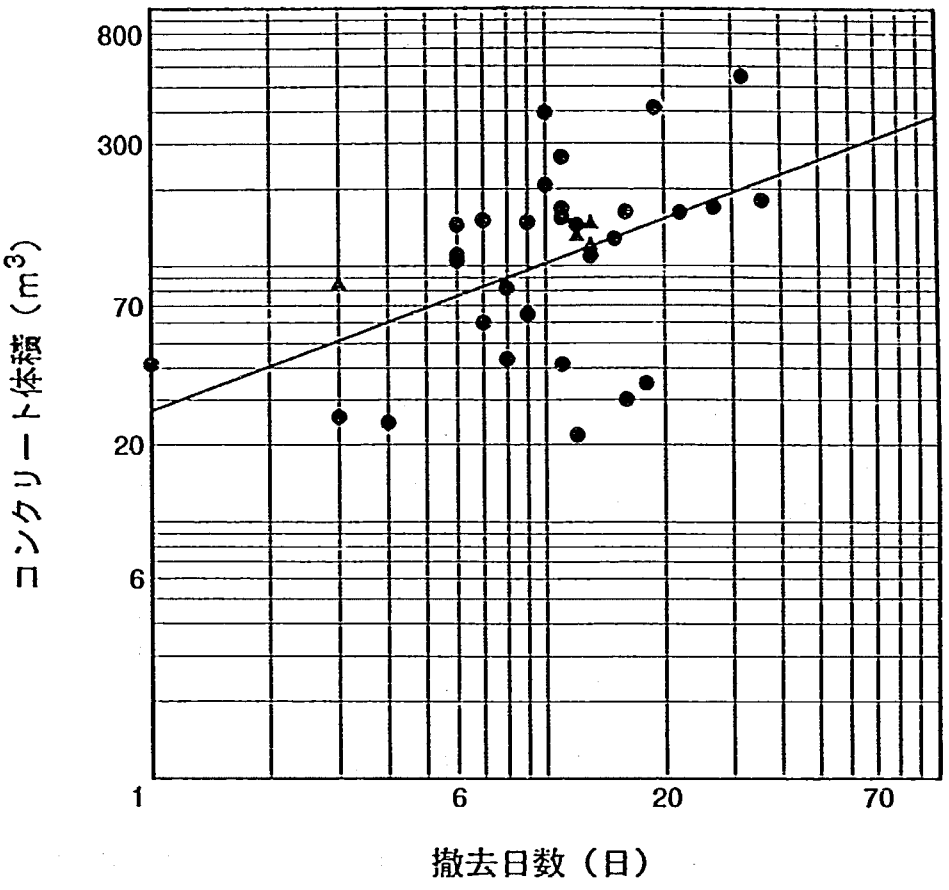
図－２．２．３７　撤去日数と止水壁高さの関係（鋼矢板、ﾃﾞｰﾀ数：１９件）

c)プレキャストＲＣ【母集団：４件】



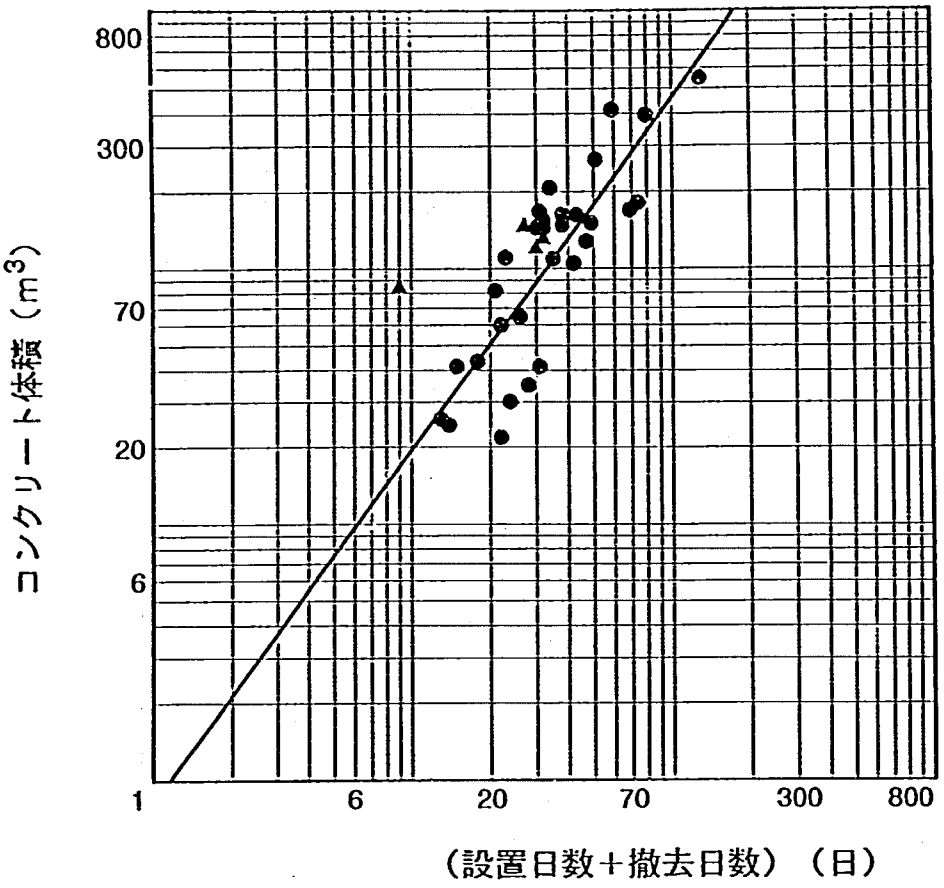
図－２．２．３８　撤去日数と止水壁高さの関係（ﾌﾟﾚｷｬｽﾄRC、ﾃﾞｰﾀ数：４件）

③撤去日数とＲＣ止水壁規模（コンクリート容積）の関係【母集団：３５件】



図－２．２．３９　撤去日数とＲＣ止水壁規模の関係（ﾃﾞｰﾀ数：３５件）

(12)（設置＋撤去日数）とＲＣ止水壁の体積の関係【母集団：３５件】



図－２．２．４０　（設置＋撤去日数）とＲＣ止水壁の体積の関係（ﾃﾞｰﾀ数：３５件）

(13) まとめ

今回の調査では、比較的新しい施工データが多く得られ、現場打ちＲＣと鋼矢板のデータは比較的多く得られたが、プレキャストＲＣの施工データは数件しか得られなかった。これは、プレキャストＲＣは強度、施工性等において優れてはいるが、仮設構造物としては高価であり、転用不可能な場合には経済的に不利となる問題があることなどが原因ではないかと考えられる。しかしながら、プレキャストＲＣは、高さが高く面積が小さいものに多い等、特有の傾向をとらえることができた。

使用材料別に主な調査結果をまとめると、以下の通りである。

・現場打ちＲＣは、止水壁高さ、掘削断面積ともに広い範囲で用いられており、止水壁の高さは低いが、ケーソンの断面積が大きい場合に多用されていた。
・プレキャストＲＣは止水壁の高さは高いが、ケーソンの断面積が小さい場合に用いられており、高さは１０ｍ前後に集中する傾向がみられた。
・鋼矢板は現場打ちＲＣとほぼ同条件で用いられており、近年、採用実績が増加する傾向がみられた。
・設置、撤去日数などの項目について、止水壁の高さや、コンクリートボリューム、あるいは壁面積等との関連についてデータ整理を行った結果、高い相関性がみられる分析結果が得られた。

また、止水壁の施工において、鋼矢板を含めたプレキャスト部材の使用が省力化、効率化、さらに安全性の向上につながることが本調査結果からも読みとることができる。しかし、プレキャストＲＣについては、経済性、汎用性などの問題点もあり、今後、これらに関する課題の抽出、問題点の明確化、およびその対応策などの検討が必要と考える。

2．3　止水壁の設計指針調査

2．3．1　ケーソン止水壁に関する設計指針

表－2．3．1に示す設計指針類について調査した結果、ケーソン止水壁に関する規定のあるものは次の3点である。

①道路橋示方書・同解説 Ⅳ下部構造編　　平成6年2月　日本道路協会
②設計要領 第二集　　平成2年7月　日本道路公団
③ケーソン工法の調査設計から施工まで　昭和60年11月　土質工学会

表－2．3．1　ケーソンの設計に関する指針等

名　称	発行年月	規定者	備考
道路橋示方書・同解説 Ⅳ下部構造編	平成6年2月	日本道路協会	※
道路土工 擁壁・カルバート・仮設構造物工指針	昭和62年5月	日本道路協会	
設計要領 第二集	平成2年7月	日本道路公団	※
仮設構造物設計基準	昭和47年9月	首都高速道路公団	
仮設構造物設計基準	平成2年10月	首都高速道路厚生会	
圧入オープンケーソンの設計指針	平成2年6月	阪神高速道路公団	
仮設構造物設計要領(案)		国鉄第1工事局	
1.山留め工および路面覆工	昭和53年9月		
同上資料	〃		
2.締切工	昭和57年3月		
同上資料	〃		
掘削土留め工の設計に関する検討報告書		国鉄第1工事局	
1.仮土留め工	昭和56年4月		
仮設構造物設計指針	昭和55年10月		
ケーソン工法の調査設計から施工まで	昭和60年11月	土質工学会	※

(注)備考欄の※印：ケーソン止水壁に関する規定（又は記述）のあるもの。

2．3．2　各設計指針の規定比較

前項でケーソン止水壁について規定のある3つの指針等についての比較一覧表を表－2．3．2に示す。

この中の主な項目について整理すると次のようになる。

(1)設計の考え方

① 「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」（以下、道示下部と称す）では8．7．2 側壁および隔壁の項でケーソン本体の側壁および隔壁について、水平方向断面と鉛直方向断面の設計に分けて解説しており、水平方向断面については施工時の荷重として沈下中に偏心した場合および沈下後に水替えを行う場合について規定している。

表－2.3.2　ケーソン止水壁の設計に関する規定比較一覧表

		道路橋示方書・同解説（下部構造編）（日本道路協会）	設計要領第二集（第6編(四)仮設構造物）（日本道路公団）	ケーソン工法の調査・設計から施工まで（土質工学会）	備考
荷重	土圧	静止土圧：静止土圧係数0.5 15mまで三角形分布 15m以深15mの深さと同強度 （右図） 主働土圧：主働土圧係数（共通編2.1.7） 0.5より小の場合0.5 粘着力による土圧の低減無し （8.7.2側壁及び隔壁：ケーソン本体の設計の規定） ケーソンの周面摩擦力： 15m 静止土圧 表-解 8.7.1　ケーソンの周面摩擦力（tf/m²） ケーソンの深さ／土質：粘性土 0.5 0.6 0.7 0.9 1.0；砂質土 1.4 1.7 2.0 2.2 2.4；砂れき 2.2 2.4 2.7 2.9 3.1（8m / 16m / 25m / 30m / 40m）	外周からの常時土圧：静止土圧（道示（下部）8.7.2側壁及び隔壁による） 土の壁面摩擦力：道示（下部）表－解8.7.1による	設計例：円形、ＲＣ（以下同様）下図 主働土圧係数0.5 図-3.1　一般形状図	
	水圧	静水圧（共通編2.1.8）	静水圧	設計例：特に計算していない	
	過積載	規定無し	1tf/m²（親ぐい、鋼矢板方式土留工）	設計例：1tf/m² 換算土厚を地表面にとる	
材料		本設材料の規定あり（共通編3章）	止水壁：鋼矢板、鉄筋コンクリート 腹起こし・切り梁：入手容易な鋼材	記述無し	
許容応力度		本設材料の規定あり（4章） 施工時50%割り増し（8.7.2側壁及び隔壁）	鋼材、コンクリート、鉄筋、木材について仮設時の許容応力度で規定	設計例：σ_a ＝ 120kgf/cm² σ_a ＝ 2700kgf/cm²	
土質常数		規定無し	種々の土の単位体積重量、内部摩擦角、粘着力について規定あり	記述無し	
止水壁	設計	原則的な規定あり（8.8.2, 8.7.8） （水平方向断面） 沈下中に偏心した場合： ①主働土圧＋静水圧　4方向　側壁に直角 ②主働土圧の1/2　1方向　投影荷重 ①,②同時載荷（左図） ケーソン沈下後水替えを行う場合： 静止土圧＋静水圧　4方向　側壁に直角（中央図） （鉛直方向断面） 吊り下げ状態について規定（右図） （8.7.2側壁及び隔壁：ケーソン本体の設計の規定） 主働土圧の1/2 主働土圧+静水圧　静止土圧+静水圧　G.L W_1 W_2 F I I_1	（一般）鉛直方向断面で構造計算 外圧：静止土圧＋静水圧 吊上げ状態に対しアンカー筋等で対策 壁面摩擦力の影響を考慮 （コンクリート構造で安全に支障ない場合） 水平方向断面で構造計算（道示の項の図参照） 荷重：主働土圧＋静水圧　4方向 主働土圧の1/2　1方向 主働土圧係数　0.5 配力筋：水平モーメントの40% （止水壁の構造タイプ）上図 （止水壁の構造例）下図	パラペットの設計の項で若干記述 設計例：（横方向鉄筋） ４方向の静止土圧、過載荷重１～３方向の３ケース検討 （縦方向鉄筋） 過載荷重＋静止土圧　片持梁	
	施工	原則的な規定あり（12.2.11） ５種類の材料を用いた止水壁又は土留め仮壁に関する特性比較表について記述 表-解 12.2.2　各種止水壁または土留め仮壁の特性比較 ○：一般に適合する場合　△：採用にあたっては十分な検討を要する場合　－：一般に配慮しない場合	規定無し	道示（下部）と同じ特性比較表について記述 施工例：①鋼矢板、タイロット、腹起こし（左図） ②場所打鉄筋コンクリート、ＰＣ鋼棒埋込み、分割撤去タイプ（小判形オープンケーソン）（右図）	

項目 / 材料	打込みの目安	止水性	壁手前の土水方法	施工性	壁体の性能	施工方法	摘要
無筋コンクリート	1.5m以内	○	－	○	△	削石機、振動機、ダイヤマイト、電気ヒーターなどにより取り壊す。	壁高さが低く、ケーソンの形状により底面に引張りの生じるおそれがない場合に適いられる。
鉄筋コンクリート	1～5m	○	－	○	△		ケーソン本体コンクリート施工の延長として容易に施工できるが施工時の対策を事前に検討しておくことが必要である。
鋼矢板	3～8m	△	止水剤、パッキング材、モルタル	○	○	タイロッド、ボルトなどの取外し後引き抜く。	ケーソン沈下中、土との摩擦抵抗力でケーソン天端から引張力が作用するおそれがあるのでタイロッドなどを用いて対処する。
鋼製パネルおよびプレキャストコンクリートブロック	2～5m	△		△	○		

表－2.3.3 ケーソン止水壁の設計に関する規定比較一覧表

		道路橋示方書・同解説（下部構造編）（日本道路協会）	設計要領第二集（第6編(III)仮設構造物）（日本道路公団）	ケーソン工法の調査・設計から施工まで（土質工学会）	備考
荷重	土圧	静止土圧：静止土圧係数0.5 15mまで三角形分布 15m以深15mの深さと同強度（右図） 主働土圧：主働土圧係数（共通編2.1.7） 0.5より小の場合0.5 粘着力による土圧の低減無し （8.7.2側壁及び隔壁：ケーソン本体の設計の規定） ケーソンの周面摩擦力： 静止土圧 15m 表-解 8.7.1 ケーソンの周面摩擦力（tf/m²） 土質＼ケーソンの深さ：8m / 16m / 25m / 30m / 40m 粘性土：0.5 / 0.6 / 0.7 / 0.9 / 1.0 砂質土：1.4 / 1.7 / 2.0 / 2.2 / 2.4 砂れき：2.2 / 2.4 / 2.7 / 2.9 / 3.1	外周からの常時土圧：静止土圧（道示（下部）8.7.2側壁及び隔壁による） 土の壁面摩擦力：道示（下部）表－解8.7.1による	設計例：円形、RC（以下同様）下図 主働土圧係数0.5 図-3.1 一般形状図	
	水圧	静水圧（共通編2.1.8）	静水圧	設計例：特に計算していない	
	過積載	規定無し	1tf/m²（親ぐい、鋼矢板方式土留工）	設計例：1tf/m² 換算土厚を地表面にとる	
材料		本設材料の規定あり（共通編3章）	止水壁：鋼矢板、鉄筋コンクリート 腹起こし・切り梁：入手容易な鋼材	記述無し	
許容応力度		本設材料の規定あり（4章） 施工時50%割り増し（8.7.2側壁及び隔壁）	鋼材、コンクリート、鉄筋、木材について仮設時の許容応力度で規定	設計例：σ_{ck} = 120kgf/cm² σ_{ck} = 2700kgf/cm²	
土質常数		規定無し	種々の土の単位体積重量、内部摩擦角、粘着力について規定あり	記述無し	
止水壁	設計	原則的な規定あり（8.8.2, 8.7.8） （水平方向断面） 沈下中に偏心した場合： ①主働土圧＋静水圧　4方向　側壁に直角 ②主働土圧の1/2　1方向　投影荷重 ①,②同時載荷（左図） ケーソン沈下後水替えを行う場合： 静止土圧＋静水圧　4方向　側壁に直角（中央図） （鉛直方向断面） 吊り下げ状態について規定（右図） （8.7.2側壁及び隔壁：ケーソン本体の設計の規定） 主働土圧の1/2 主働土圧＋静水圧　静止土圧＋静水圧 C.L	〔一般〕鉛直方向断面で構造計算 外圧：静止土圧＋静水圧 吊上げ状態に対しアンカー筋等で対策 壁面摩擦力の影響を考慮 〔コンクリート構造で安全に支障ない場合〕 水平方向断面で構造計算（道示の項の図参照） 荷重：主働土圧＋静水圧　4方向 主働土圧の1/2　1方向 主働土圧係数　0.5 配力筋：水平モーメントの40% 〔止水壁の構造タイプ〕上図 〔止水壁の構造例〕下図 (a) (b) (c) (d) 鋼矢板 鋼矢板 鋼矢板 鉄筋コンクリート 鉄筋コンクリート プレキャストRCブロック	パラペットの設計の項で若干記述 設計例：（横方向鉄筋） 4方向の静止土圧、過載荷重1～3方向の3ケース検討 （縦方向鉄筋） 過載荷重＋静止土圧　片持梁	
	施工	原則的な規定あり（12.2.11） 5種類の材料を用いた止水壁又は土留め仮壁に関する特性比較表について記述 表-解 12.2.2 各種止水壁または土留の仮壁の特性比較 材料＼項目：施工実績の目安 / 止水性 / 継手部の止水方法 / 施工性 / 撤去時の再利用性 / 撤去方法 / 摘要 鉄筋コンクリート：1.5m程度内外 / ○ / － / ○ / △ / 削岩機、切断機、ダイナマイト、電気ヒーターなどにより取り壊す。 / 壁厚さが薄く、ケーソンの形状により断面に引張りの生じるおそれがない場合に用いられる。 鉄筋コンクリート：1～5m / ○ / － / ○ / △ / ケーソン本体コンクリート施工の延長として容易に施工できるが運転時の対策を事前に検討しておくことが必要である。 鋼矢板：3～8m / △ / 止水剤、パッキング材、モルタル / ○ / ○ / タイロッド、ボルトなどの取外しは引き抜く。 / ケーソン沈下中、または周面摩擦力でケーソン天端から離脱するおそれがあるのでタイロッドなどを用いて対処する。 鋼製パネルおよびプレキャストコンクリートブロック：2～5m / △ / △ / ○ / 撤去時の再利用性 / 撤去方法 / 摘要 （○：一般に適合する場合　△：採用にあたっては十分な検討を要する場合　－：一般に配慮しない場合）	規定無し	道示（下部）と同じ特性比較表について記述 施工例：①鋼矢板、タイロット、腹起こし（左図） ②場所打鉄筋コンクリート、PC鋼棒埋込み、分割撤去タイプ（小判形オープンケーソン）（右図）	

沈下中に偏心した場合は、４方向の土圧、水圧の他に更に１方向から土圧を作用させるよう規定しており、沈下後水替えを行う場合は、４方向の土圧、水圧について規定している（(２)項参照）。

鉛直方向断面の施工時については、沈下抵抗力が大きい場合に刃先を大きく掘り起こし、刃口付近の地山がひどく緩められたときに起こる、ケーソンの下部が上部に吊り下げられる状態について、規定している（道示下部８．７．２項）。

② 設計要領第二集〔第６編(Ⅲ)仮設構造物〕（以下、「設計要領」と称す）では、止水壁の設計について一般には鉛直方向断面で構造計算するよう規定しており、コンクリート構造で安全性の点で問題ない場合は、水平方向断面による構造計算も可能であるとしている（設計要領８-３項）。

土圧、水圧の考え方は道示下部によるとしている。（(２)項参照）が、道示下部と異なるのは、主働土圧係数を０．５に固定していること、および配力筋を断面方向モーメントの４０％と固定していることである。

許容応力度は、道路橋示方書等の値を５０％割り増した値を規定している（設計要領３-３項）。

③ ケーソン工法の調査・設計から施工まで（以下、ケーソン工法と称す）では、円形オープンケーソンの止水壁について設計例を示しており、止水壁の深さがGL.以下２．３ｍと浅いが、土圧を４方向から載荷した上で、過載荷重を部分的に載荷して検討している（ケーソン工法３．１．１項）。

許容応力度は、５０％割増した値をとっている（同上）。

(2)土圧および水圧

① 道示下部では本体側壁および隔壁の設計の中で、沈下中と沈下後に分け沈下中に偏心した場合は、主働土圧+静水圧を４方向から壁に直角に載荷し、主働土圧の１/２を１方向から投影荷重で載荷させ、沈下後水替えを行う場合は制止土圧+静水圧を、４方向から壁に直角に作用するように規定している（道示下部８．７．１項）。

主働土圧はクーロン土圧により計算し、主働土圧係数が０．５より小さい場合は０．５をとるように規定している（同上）。

静止土圧は深さ１５ｍまでは三角形分布で、１５ｍ以深は１５ｍの深さの土圧と同じ強度とするよう規定しており、静止土圧係数は砂質土、粘性土の区別なく０．５としている（同上）。

② 設計要領では、止水壁に作用する外圧として、一般には静止土圧+静水圧をとり、コンクリート構造で安全に支障のない場合は、道示下部と同様に主働土圧＋静水圧を４方向から、主働土圧の１/２を１方向から投影荷重で載荷するように規定しており、静止土圧は道示下部に準拠し、主働土圧係数は０．５とするよう規定している（設計要領８-３項）。

③ ケーソン工法の中の止水壁（土留め壁）の設計例では、静止土圧を４方向に

載荷し、過載荷重を１方向、２方向、３方向から載荷して影響を計算しているが、静水圧は地下水位より上なので計算していない。土圧係数は０．５（主働土圧係数としている）で計算している（ケーソン工法３．１．１項）。

(3)周面摩擦力

① 道示下部では、周面摩擦力を過去の実績からまとめて表－解８．７．１に示しているが、この値は過去のデータよりケーソンの傾斜が僅少でフリクションカットがあり、刃先抵抗は全くないという比較的沈下状況のよい場合についてまとめたものである。

② 設計要領では、道示下部８．７．１項（表－解．７．１含む）によると規定している（設計要領８－３項）。

③ ケーソン工法の設計の中の設計例では、特に計算していない。

(4)施工に関する規定

① 道示下部では、ケーソン止水壁の施工に関する原則的な規定の他に、５種類の材料を用いた止水壁又は土留め仮壁に関する特性比較表が記載されている。特性比較表の中では使用材料ごとの止水壁又は土留め仮壁の高さの目安、止水性、撤去方法等が記載してある（道示下部１２．１２．１１項）。

② 設計要領には規定なし。

③ ケーソン工法では、道示下部と同じ特性比較表の他に、止水壁の施工例として２例（鋼矢板・タイロッドタイプ、ＰＣ鋼棒埋込み分割撤去タイプ）記載されている（ケーソン工法２．３．３、２．３．４、３．１．１項）。

第３章　止水壁の選定と施工概要

止水壁を選定し施工する際には、各止水壁材料の特性をふまえ、多様な施工諸条件との適応性等について考慮する必要がある。

本章では、各止水壁材料の特性および選定時に留意すべき事項、並びに各止水壁材料別の施工の概要について述べる。

３．１　止水壁の概要

一般に止水壁は、ケーソンおよびウェル等の沈設天端が水面又は地盤面以下となる場合に、水または土砂の流入を防止して、止水壁内部での躯体構築作業が安全にできるよう、パラペット天端に設ける仮設構造物であるため、水密性並びに土圧、水圧および圧入式の場合の圧入力等に耐えられる充分な強度が要求されると同時に、工事完了後確実に撤去できるものであることが要求されている。

３．２　止水壁の種類と選定

３．２．１　止水壁の種類

1）止水壁材料による分類

止水壁に用いる主な材料としては、以下が挙げられる。

①無筋コンクリート

形状保持用等の鉄筋はあるが、基本的に本体との応力伝達は圧縮力のみである場所打ちコンクリート形式。

②鉄筋コンクリート（以下、「現場打ちＲＣ」）

本体との応力伝達に鉄筋を配した現場打ちコンクリート形式。

③鋼矢板

壁体材料として鋼矢板を用い、鋼棒等の緊張材を用いて本体との結合を行う形式。撤去等施工性が高い。

④鋼製パネル

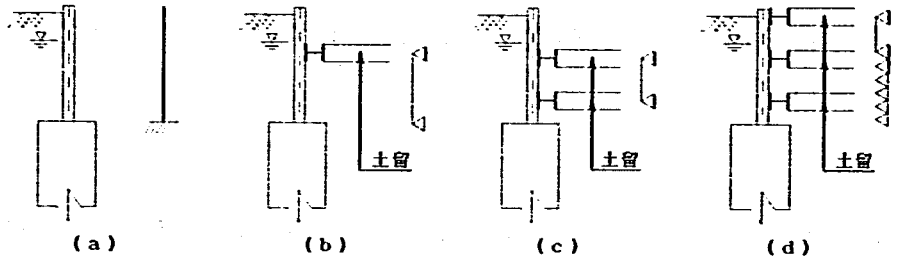
分割または、一体形式の補強鋼板および鋼殻製の止水壁。高価であるが、水密性等高度な精度を要求されるところに適する。

⑤プレキャストコンクリートブロック（以下、「プレキャストＲＣ」）

分割または、一体形式のプレキャストコンクリート製の止水壁で、鋼材、アンカーボルト等で本体と緊結するため、堅固な構造となり、圧入工法を用いる際などは有利である。また転用は容易であるが、転用しない場合は他に比べて高価である。

2) 構造形式による分類

一般的な止水壁の設計モデルとしては、図－３．２．１のようである。



図－３．２．１　一般的な止水壁の構造形式

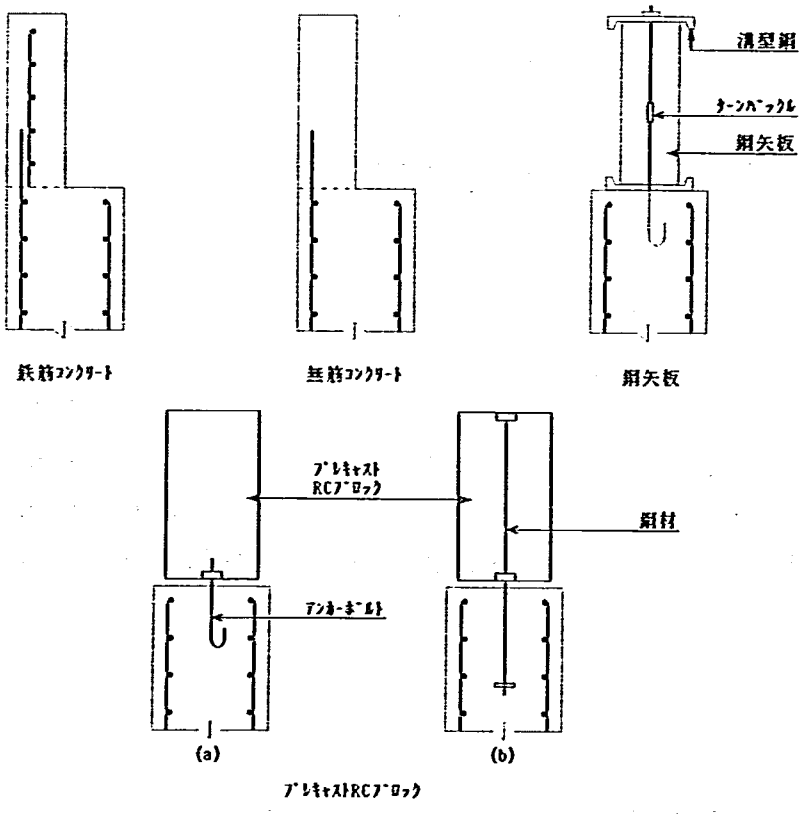
(a) 一般的にコンクリート構造に用いられ、パラペット天端を固定した片持梁とし、反力は全てパラペットに持たせるタイプである。

(b) 腹起しはパラペット天端を支点とする単純梁として行い、パラペットに支点反力をとらせるタイプである。

(c) 上下腹起し位置を支点とする単純梁とし、止水壁よりの反力をパラペットへ影響させないタイプである。

(d) 腹起し、切梁を数段設けるタイプで、腹起こし位置を支点とする単純梁として計算する。単純梁としたのは、計算を簡単にし、かつ安全側とするためである。

以下に、各止水壁材料の標準的形状を示す。



図－３．２．２　各止水壁材料の標準的な形状

3) 各止水壁材料の特性

これらの一般的に示されている特性をふまえ、止水壁材料別の比較表を以下に示す。本表は、今回実施したアンケートによる施工実績を反映してあるため、従来のものと比較し、止水壁高さが高くなっているが、実際の使用に際しては構造上の安全性等を十分検討し、使用する必要がある。

表－３．２．１　各種止水壁の特性比較表

項目 / 材料	最大止水壁高さの目安	止水性	継手部の止水方法	圧入ｹｰｿﾝへの適応性	撤去の容易性	撤去方法	摘要
無筋コンクリート	4m（円形の場合）	○	―	○	△	一括引上 分割引上 機械を反力としジャッキにより引き上げる。 現位置解体 静的破砕材、ワイヤーソー、低爆速火薬、ブレーカー、油圧ジャッキ等	止水壁高さが低く、ケーソンの形状により断面に引張りの生じる恐れがない場合に用いられる。
鉄筋コンクリート	10m	○	―	○	△		ケーソン本体とコンクリート施工の延長として容易に施工可能であるが、撤去時の方策を事前に検討しておくことが必要である。
ﾌﾟﾚｷｬｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ	12m	○	止水材、パッキング材、モルタル	○	○	一般には、タイロッド、ボルトなどを取り外し後、撤去する。	ケーソン沈下中、土との周面摩擦力による引張力に対し、ＰＣ鋼棒・タイロッド等で緒結する。
鋼矢板	10m	△		△	○		
鋼製パネル	12m	△		△	○		

凡例　○：一般に適合する場合　　△：採用に当たっては十分な検討を要する場合
　　－：一般に配慮しない場合

３．２．２　止水壁の選定

止水壁の選定に当たって考慮すべき条件としては、

・施　工　条　件：気中、水中等

・周辺環境条件：河川、海洋、市街地等

などの基礎的な条件があるが、これらの他にも、検討すべき項目がある。以下に主たる検討項目等と、それらによって選定される止水壁について述べる。

①断面形状

止水壁の断面形状としては、円形、矩形、小判形などが一般的である。

円形と小判形には、現場打ちおよびプレキャストＲＣ並びに鋼矢板等ほぼ全ての止水壁材料が選択される。

これに対して矩形断面の場合は、鋼矢板および現場打ちＲＣはよく用いられるが、プレキャストＲＣが用いられることは少ない。

②形状寸法

主要な形状寸法としては、掘削断面積、止水壁高さ等が挙げられる。これらは設計上重要な点であるが、止水壁の選択にはあまり影響は与えない。

実績では、プレキャストＲＣは大きな掘削断面積の場合は使用されることは少なく、また、現場打ちＲＣのうち無筋のものは、比較的止水壁高の低い場合に使用されている等の傾向が見られる。しかし、一般的には形状寸法から止水壁材料を選択することは少なく、施工性、経済性等の別の要因によることが多い。

③躯体の使用目的

ケーソンの用途は種々あるが、

・橋梁または鉄塔等の基礎
・内空を利用する地下構造物
・抗土圧構造物

などが代表的である。

使用目的の大部分を占める橋梁または鉄塔の基礎では、非常に大きい刃口面積や大深度のものは、ニューマチックケーソンで施工されることが多く、その場合の止水壁は、周辺環境や施工条件により種々の材料が用いられる。大深度であっても面積の小さいもの、面積が大きくても深度の比較的浅いものは、経済性等の点よりオープンケーソンで施工されることが多いが、この場合の止水壁の選択も特に特徴はない。

内空を用いる場合では、完成後の躯体形状により、躯体構造との整合、部分または完全撤去等を考慮した選択となる。

④載荷荷重

載荷荷重の有無によって、またその載荷形状によっても止水壁の選択は異なる。

載荷がない場合には、止水壁材料の選択に特に制限はない。

載荷のある場合としては、本体の沈下荷重の不足を補うために、圧入する方法と鋼材等を載せ重量の増加を図る方法等がある。

圧入工法を用いる際では、圧入力が大きい、または止水壁の高さ（座屈長）が高いときは、荷重に応じた構造とするため、現場打ちＲＣまたはプレキャストＲＣを用いることが多い。

載荷する場合は、別途荷重受け台等を設置して対応することが一般的であるが、刃口面積が狭小あるいは形状が複雑であるものは、載荷物のために掘削範囲が狭くなり、掘削作業等の支障となることもある。このような時にはコンクリート製の止水壁を用いて沈下重量の増加を図って対応する方法も採られる。

⑤経済性・工程

実施工において、経済性は重要な課題である。一般的には鋼矢板による止水壁が安価であるとされ、現場打ちＲＣ、プレキャストＲＣと続く。しかし、大荷重への対応、安定した工程、安全性などの観点から総合的に見ることで、選択の順位は変動する。

3．3 解体および撤去方法

1) 撤去方法の種別

止水壁の撤去方法としては、一般に以下のものが挙げられる。

・一括引上

止水壁を躯体から分離し、そのまま撤去する方法で、止水壁の大きさ、重量等が課題となり、水中作業等、特殊な作業が必要となる場合も発生するが、止水壁を確実に撤去できる方法である。プレキャストＲＣなどに多く見られるが、現場打ちＲＣでも転用を考慮した場合等に種々の工夫を施し、行われている。

・分割引上

止水壁重量が大きい、あるいは大きな吊り上げ機械を使用出来ない等の条件がある場合に縦、横または両方の撤去用目地を設け、分割して撤去する方法である。鋼矢板の止水壁はほとんどこの形式であるが、プレキャストＲＣおよび現場打ちＲＣにおいても多用されている。

・現位置解体

現位置で小割りし、撤去する方法である。この方法は民家の隣接、構造物への近接等の周辺環境に制限を受ける。また、撤去後の状況が確認し難い面もある。解体方法としては以下のものがある。

- 火薬類による破砕
  - 発破工法
  - 制御発破工法
  - コンクリート破砕器
- 静的破砕
  - 静的破砕材
  - 油圧・水圧・空気圧による破砕
  - その他
- 機械等による破砕
  - 各種圧砕機
  - くさび工法
  - その他
- その他（ワイヤソーによる切断等）

2) 撤去方法選定時に考慮する条件

止水壁の撤去方法選定時に考慮する主な条件としては、下記のものが挙げられる。

・止水壁を完全撤去する必要がある。
・河川の水質等環境に配慮する必要がある。
・工期が短い。
・振動、騒音に配慮する必要がある。
・経済性
・施工性
・安全性
・作業範囲の広さ等の作業環境

これらの条件は、主として現場の周辺状況および施工条件等に起因するものであり、これらの条件への適合性が止水壁材料を選定する主因とはなりにくいが、撤去工法の選定時には重要なものである。

3) 止水壁材料と撤去方法

撤去方法から止水壁材料を選定することは少ないが、鋼矢板を使用した場合の分割引き上げ、プレキャストＲＣを用いた場合の一括または分割引き上げのように、使用材料により撤去方法がほぼ限定されるものもある。

3．4　鋼矢板止水壁

鋼矢板止水壁は、壁面材料に鋼矢板を使用した止水壁である。鋼矢板は規格化された既製材料として一般市場に広く出回わっており入手しやすく、価格も一般的に安定している。規格によって寸法および断面性能が段階的にシリーズ化されており、荷重条件に応じた規格材料を使用できる。鋼材は強靭な強度を有する工場製品で品質は安定しており衝撃や摩耗などにも強く耐え、くり返し使用されている。

鋼矢板は厚さ２０㎜前後の鋼板を幅４０～５０㎝のU型に成型したものであり断面積は小さく、それに伴い許容軸力も小さくなる。止水壁天端に鋼材等を載荷したり圧入工法の反力桁を載せた場合大きな軸力が作用するが、鋼矢板止水壁は殆どの場合軸力に対する補強が必要となる。

3．4．1　構造概要

ケーソン躯体上に鋼矢板を閉合するよう組立て止水壁とする。各部の施工方法を以下に記す。

1)　ケーソン躯体と鋼矢板の接合部

①アンカーの付いた受け金物をケーソン躯体天端に設置し、鋼矢板を建て込みモルタルやプロンアスファルトを充填する（図－３．４．１ (a)(c)）。

②ケーソン躯体天端に溝を造り鋼矢板を建て込み、コンクリートやモルタルを打設する（図－３．４．１ (b)(d)）。

③ケーソン躯体に直接鋼矢板を埋め込む。

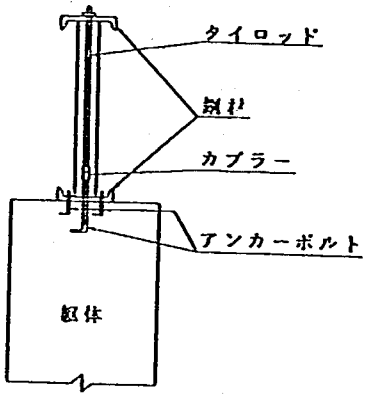
2)　固定方法

鋼矢板をケーソン躯体に固定するには、ケーソン躯体にアンカーを埋込み鋼棒等で鋼矢板の天端や中間等で緊張固定する。

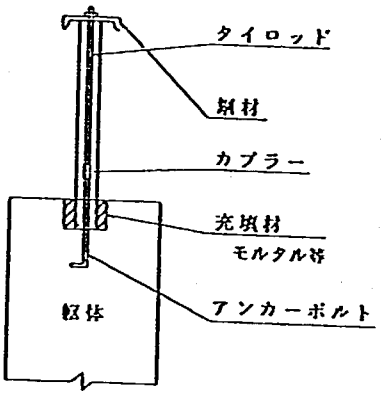
天端で緊張するには、アンカーとカプラー等で接続した鋼棒等を、鋼矢板天端に設置した押さえ金物を通して緊張固定する（図－３．４．１ (a)(b)）。

中間や下部で緊張するには（図－３．４．１ (d)）のように鋼矢板にアンカー金物を取付け、ケーソン躯体に埋込んだアンカーとターンバックルなどで緊張固定する。

以下に構造概要図を示す。

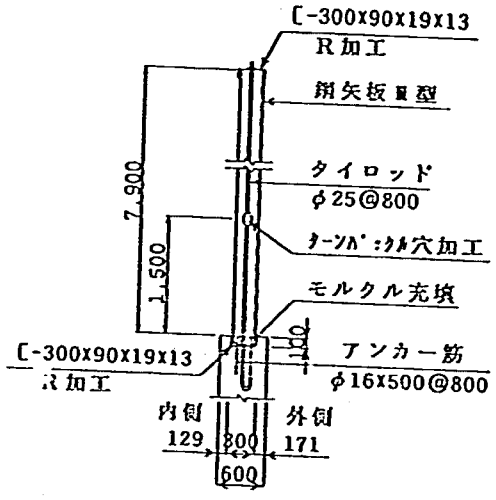


（ａ）

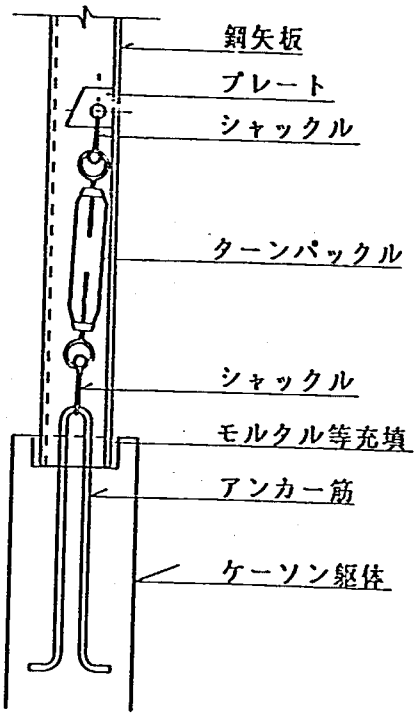


（ｂ）

本体接続部詳細図



（ｃ）

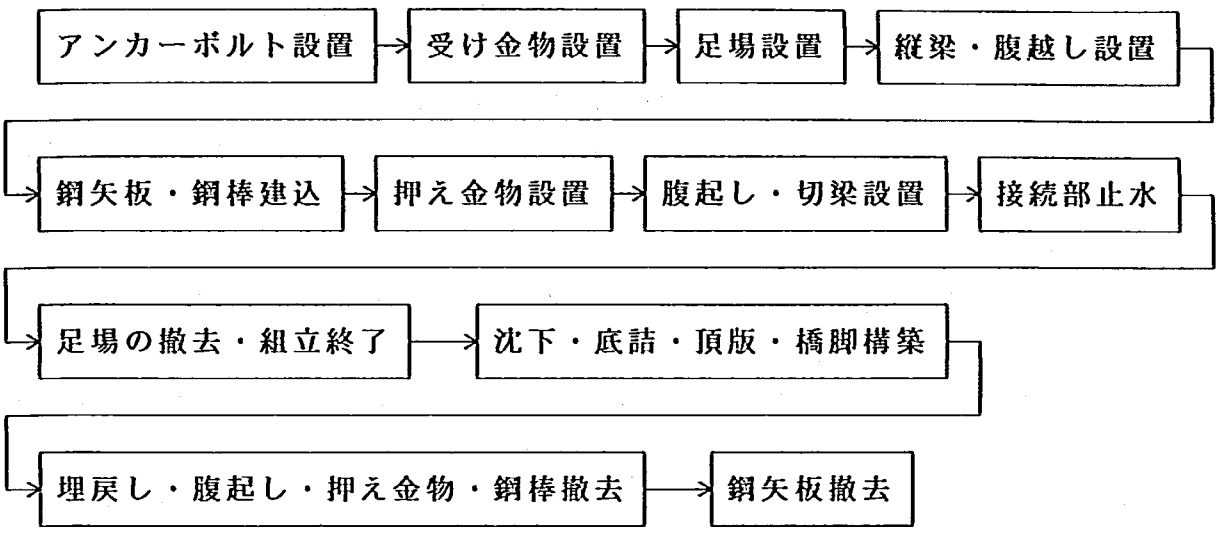


（ｄ）

図－３．４．１　構造概要図

3．4．2　施工手順

［鋼矢板止水壁設置フロー］（橋脚基礎ケーソンの例）



3．4．3　施工方法

1）　準備工

鋼矢板は転用性が高いが回数が多いと、途中でつないだもの、曲がり、ねじれ、摩耗、割れなどにより断面性能や強度低下した品物も含まれてくる。使用にあたってはこれらの不良品を除外するとともに、以下のような注意が必要である。

①　仮設であるが、使用頻度がはげしいこと、断面欠損が多いことから許容応力度を考慮し施工する。

②　現場作業での溶接は、足場の悪さ、溶接姿勢の悪さ、溶接部材開先のずれや変形状況、溶接工の技術などの施工条件によって強度にバラツキが発生しやすく、溶接強度の低下を考慮して施工する。

③　鋼矢板は１枚ものを原則とするがやむを得ず継手を設ける場合は、突合せ溶接と添接板溶接を併用するとともに、継手位置はできるだけ応力の大きい所を避け、隣接鋼矢板相互の継手は同一の高さに揃わないようにする。揃う場合は止水壁の構造に配慮する。

2) 施工

① 養生ネットなどによりケーソン内部への転落防止設備を設置してから足場を組み立てる。足場は山留め支保工と鋼矢板組立て作業に必要であり、高所で重量物を扱うことから作業性の良い構造とする。

② 蓋版受けに立てた支柱などを架台とし山留め支保工を取付け組立てる。パラペットに設置した受け金物等に鋼矢板を建て込み山留め支保工で仮受け、溶接仮固定し順次セットしていく。転倒防止のため外側にワイヤーロープ等を廻すなどの対策をする。

順次鋼矢板天端に押さえ金物を設置、タイロッド等を仮緊張固定し全体が組上がったら緊張力が均等になるよう本緊張固定する。

受け金物と鋼矢板の間隙にはモルタルやブロンアスファルトを充填し固定止水する。

③ ケーソン沈下・橋脚構築終了後、天端で開放撤去できる構造のもの以外は鋼棒等の緊張を開放したりアンカーを切断しながら内部を埋戻し山留め支保工を撤去する。鋼矢板はパイプロハンマーで引き抜く。

3) その他

天端に載荷する場合や圧入工法を併用するときは、支圧荷重に対し補強などの検討が必要である。

円形、矩形、小判型などの各種形状には対応しやすいが、支保工を必要とする場合が多い。支保工間隔は艤装、載荷（荷重鋼材の種類、水荷重水位等）、橋脚構築等の条件を考慮して設置する。

腹起し、切梁は鋼矢板に密着させゆるみのないようにする。水荷重によって内側から荷重が作用し外側へ鋼矢板が変形する場合、腹起しや切梁が脱落しないように補強する。

3.5 プレキャストＲＣ止水壁

プレキャストＲＣ止水壁は、プレキャストＲＣ版（パネル）を組立て止水壁とするものである。施工条件に合わせ大型のものや円形およびテーパー状のもの等任意の形状寸法のパネルが製作でき、本体との接合部から完全撤去できる。剛性は大きく圧入工法の集中荷重等にも対応できる構造にすることは容易である。

転用は、パネル重量が重いことや保管場所、同一形状のケーソン工事の施工頻度などから同一現場内のみでの転用例が多く、工事完了時には処分することがほとんどである。転用は、コンクリート製パネルであることから止水壁の解体や再組立にともない欠損しやすく、補修や補充が必要である。

3．5．1　構造概要

パネル製作・組立ての施工例として以下の２例があげられる。

① ケーソン躯体上にプレキャストＲＣ版を組立て一体の止水壁とする方法（沈下完了後、撤去転用）

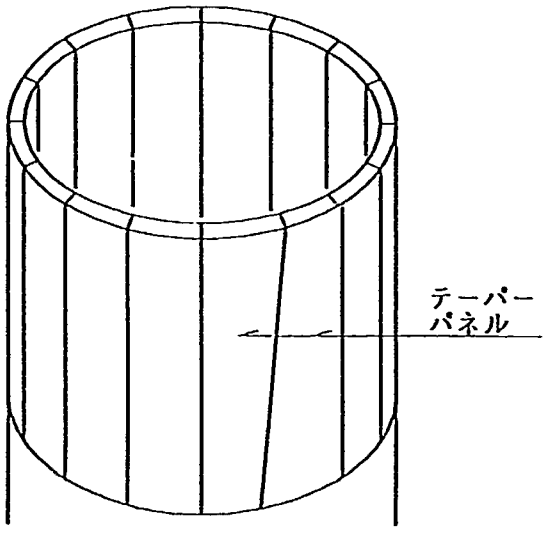
② 数枚のパネルに分割できるようケーソン躯体上に型枠を組み止水壁を構築する方法（沈下完了後、撤去転用）

プレキャスト止水壁のケーソン本体との固定は、鋼棒等により緊結固定している。分割は、

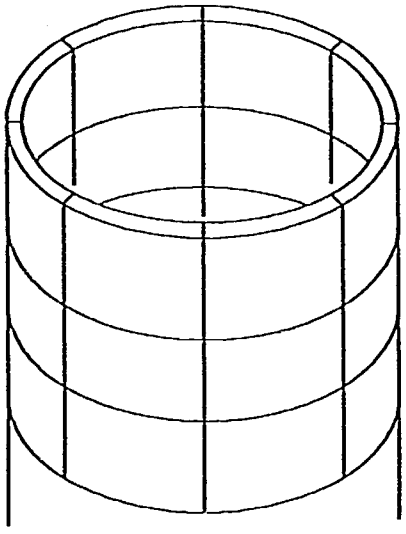
① 縦方向パネルに分割製作し、内２枚は分解口としてテーパーパネルにする（縦割りタイプ）。縦目地は突合せ水膨潤性シール材等で止水する。

② 縦横方向にパネルを分割し、ブロックのように２～３段と積み重ね組立てる。（ブロックタイプ）。パネルの横方向はボルトで緊結する。

円形の止水壁は腹起し、小判型および矩形は腹起し切梁の取付けが必要である。



図－３．５．１　縦割タイプ



図－３．５．２　ブロックタイプ

3．5．2　施工方法

縦割りタイプおよびブロックタイプの施工フローについては、第４章 実施例に記載されているので参照されたい。

1)　施工

プレキャストパネルを現場で製作する場合、精度を確保できる製作ヤード設備および施工が大切である。コンクリート打設による重量や振動などで変形したパネルは、組み立てると間隙が生じて止水性が悪くなったり、パネル面がポイントタッチとなって鋼棒緊張や圧入荷重等による破損など問題が発生する。ブロックタイプの施工例では、ボルト緊結部など複雑な構造であり、パネルを工場で製作している。

① コンクリートパネルは重量が重いことおよび高所作業になることから、パネルを仮受けする支保工や作業足場の構築を行う。

② パネルを建て込み順次仮固定し全体を組立て、鋼棒を緊張固定する。
ブロックタイプは沈下に伴い１段、２段と組上げてゆく。

③ 腹起し、支保工等を取付け止水壁の組立て完了となる。

④ 沈下完了後埋戻しながら支保工を撤去し、解体口からクレーン、パイプロハンマー等を使用して撤去してゆく。
ブロックタイプは水を張り支保工を撤去、天端ブロックは地上から撤去できるが、中段下段ブロックは水中撤去作業となることもある。

2)　その他

重量が重いことから吊りアンカー鋼材の埋込みや吊り金具を取付る穴などが必要である。工事完了後、コンクリートパネルは再利用できない場合、産業廃棄物として解体処分される。

3．6　現場打ちＲＣ止水壁

3．6．1　構造概要

現場打ちＲＣ止水壁はケーソン躯体の延長であり、基本的には構造や築造方法は同じである。ケーソン躯体と一体構造とした場合、浅いもの、発破等を使用しても影響のない環境などの施工条件以外では、取壊し、完全撤去は容易でない。取壊しが容易なように本体との接合部や縦横方向に、分割撤去ができるよう縁切りの目地を設ける構造とする例が多い。

撤去が容易なように縦横方向に縁を切った構造、壁厚さを薄くした構造などは支保工を取付け応力的に満足させる必要がある。

沈下完了後、環境条件等を満足する撤去工法で所定の範囲まで完全撤去できる構造とすることが大切である。

3．6．2　施工方法

止水壁をケーソン躯体と一体として構築してゆく構造は、ケーソン躯体構築と何等変わりはない。

所定の範囲までを完全撤去できるよう、水平目地や鉛直目地を設けた構造と撤去工法の組合わせが種々あり、主な例を示す。

① 存置部と撤去部は一体構築、縦および水平鉄筋はブロックに分解できるよう、ある間隔で縁切り、ブロック毎に破砕用箱抜き（孔）等を設置する。撤去時はコンクリート破砕器により破砕しブロック毎にクレーンで撤去する（図－3．6．1－(a)）。

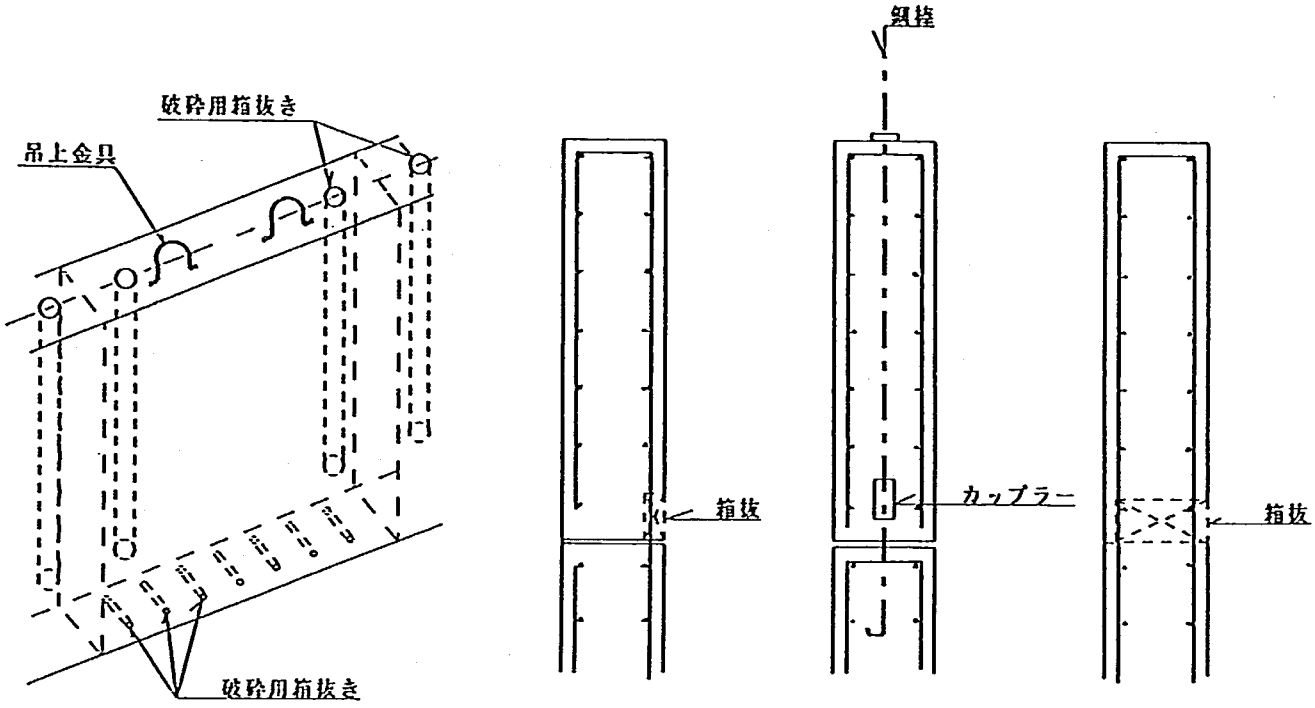
② 本体との接合部は縁切り目地、外側縦筋は縁切り、内側縦筋は連続で発砲スチロールで箱抜き（切断を容易にするため）をしておく。撤去は鉄筋を切断しクレーンや橋脚天端に反力受け桁材を渡しセンターホールジャッキにより吊り上げ、その場や他所に運搬し地上部で解体処分する（図－3．6．1－(b)）。

③ 本体との水平接合部は縁切りする。ケーソン本体とはカプラーで接合した鋼棒を緊張固定。クレーンや橋脚天端に反力受け桁材を渡しセンターホールジャッキにより吊り上げ、その場や他所に運搬し地上部で解体処分する（図－3．6．1－(c)）。

④ ③と同様であるが止水壁の縦方向にも縁切りを数箇所設け、ブロックで撤去できるようにする。

⑤ 縦筋、横筋の内外側とも連続して構築するが、外側鉄筋まで幅１０cm程の発砲スチロールによりブロックに分解できるよう箱抜きをしておく。撤去時は鉄筋を切断しながら埋戻し支保工を外す。地上部から大型ブレーカーによりクラックを入れクレーン等により引抜き撤去する（図－3．6．1－(d)）。

縁切りには、石鹸液を塗りビニールシートを敷く、ゴム板、エラスタイト、ソフタイト、合板、松板等が使用されている。



図－３．６．１　現場打ちＲＣ止水壁

３．６．３　その他

現場打ちＲＣ止水壁は、止水性に優れ、剛性大きく載荷重に対し有利であり、沈下荷重としても重く有利である。

３．７　その他の止水壁

①　無筋コンクリート止水壁

無筋コンクリート止水壁は高さ１ｍ以下か、円形でも高さ２ｍ程度までのものが多い。鉄筋が無いこと、浅いことから取壊しは大型ブレーカー等により比較的容易である。

②　鋼製止水壁

鋼製止水壁は製作費が高額になることから、施工事例のような特殊条件の場合か転用回数が多い場合に採用される。

工場製作により複雑な形状でも精度の確保ができ、止水性、強度に優れ、ボルト接合や溶接により組立てられる。接合部は、受け金物をケーソン躯体に設置し、間に止水のためゴムパッキン等を入れる。

撤去は潜水夫により接合ボルト等を外し撤去する。ケーソン本体と鋼棒等による緊張固定した場合は、プレキャストＲＣ止水壁と同様に撤去する。

第４章　実施例

止水壁材料として(1) プレキャストＲＣ、(2) 現場打ちＲＣ、(3) 鋼矢板、(4) 鋼殻の４形式を対象としてそれぞれの1)概要、2)止水壁の構造概要、3)施工フロー、4)施工方法、5)安全管理のポイントについて報告を求めた結果、20例が報告された。本章にはその全てを掲載する。なお、下は、事例集目次である。

事例集目次

事例番号		内容
4.1 : プレキャストＲＣ止水壁	4.1.1 事例１	分割パネルの逐次引上げ
	4.1.2 事例２	分割パネルの逐次引上げ
	4.1.3 事例３	水平４分割の一括引上げ
	4.1.4 事例４	分割パネルの逐次引上げ
	4.1.5 事例５	分割パネルの逐次引上げ
4.2 : 現場打ちＲＣ止水壁	4.2.1 事例６	一括引上げ
	4.2.2 事例７	一括引上げと再利用
	4.2.3 事例８	制御発破
	4.2.4 事例９	分割引上げ後破砕
	4.2.5 事例10	分割引上げ後破砕
	4.2.6 事例11	発破とブレーカー破砕
	4.2.7 事例12	ブレーカー破砕
	4.2.8 事例13	ブレーカー破砕
	4.2.9 事例14	分割パネルの逐次引上げ
	4.2.10事例15	分割パネルの逐次引上げ
	4.2.11事例16	破砕と下部一括引上げ
4.3 鋼矢板止水壁	4.3.1 事例17	切梁を補強し荷重載荷の大規模化
	4.3.2 事例18	止水壁内部埋め戻し後１枚毎の引き抜き
4.4 鋼殻等の特殊な止水壁	4.4.1 事例19	分割引上げ
	4.4.2 事例20	水平方向に２分割し上下部それぞれを一括引上げ

4．1 プレキャストＲＣ止水壁

4．1．1 事例１：分割パネルの逐次引上げ

1)概要

オープンケーソン工法で施工された高速自動車道の橋梁基礎を、河川堤防本体内に構築したものである。圧入工法を併用しており、止水壁はプレキャストＲＣを用いて転用した。

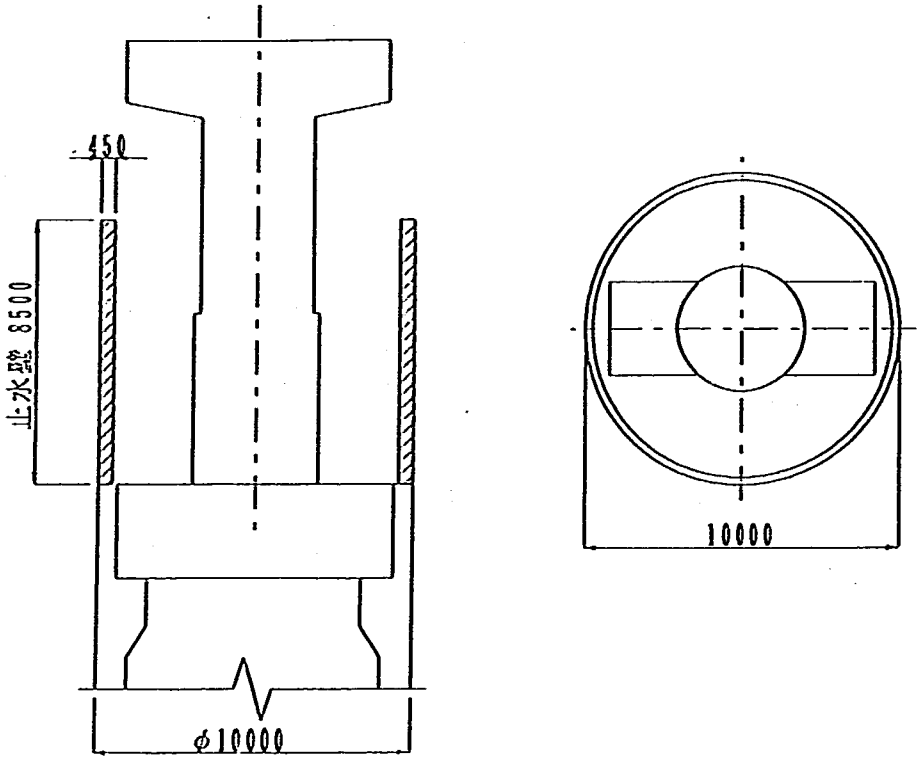
ケーソン規模（４基）

Ｐ１（上り線）　円形φ１４．０６ｍ　深度２８．００ｍ
Ｐ２（上り線）　円形φ１０．０６ｍ　深度２４．５０ｍ
Ｐ３（下り線）　円形φ１４．０６ｍ　深度２３．５０ｍ
Ｐ４（下り線）　円形φ１０．０６ｍ　深度２０．５０ｍ

止水壁

プレキャストＲＣ　φ１４．００×Ｈ６．５０ｍ（Ｐ１、Ｐ３）
〃　φ１０．００×Ｈ８．５０ｍ（Ｐ２、Ｐ４）

本編では、止水壁Ｐ２について主に記し、その形状を図－４．１．１に示す。



図－４．１．１　プレキャストＲＣ止水壁一般図

2)止水壁構造概要

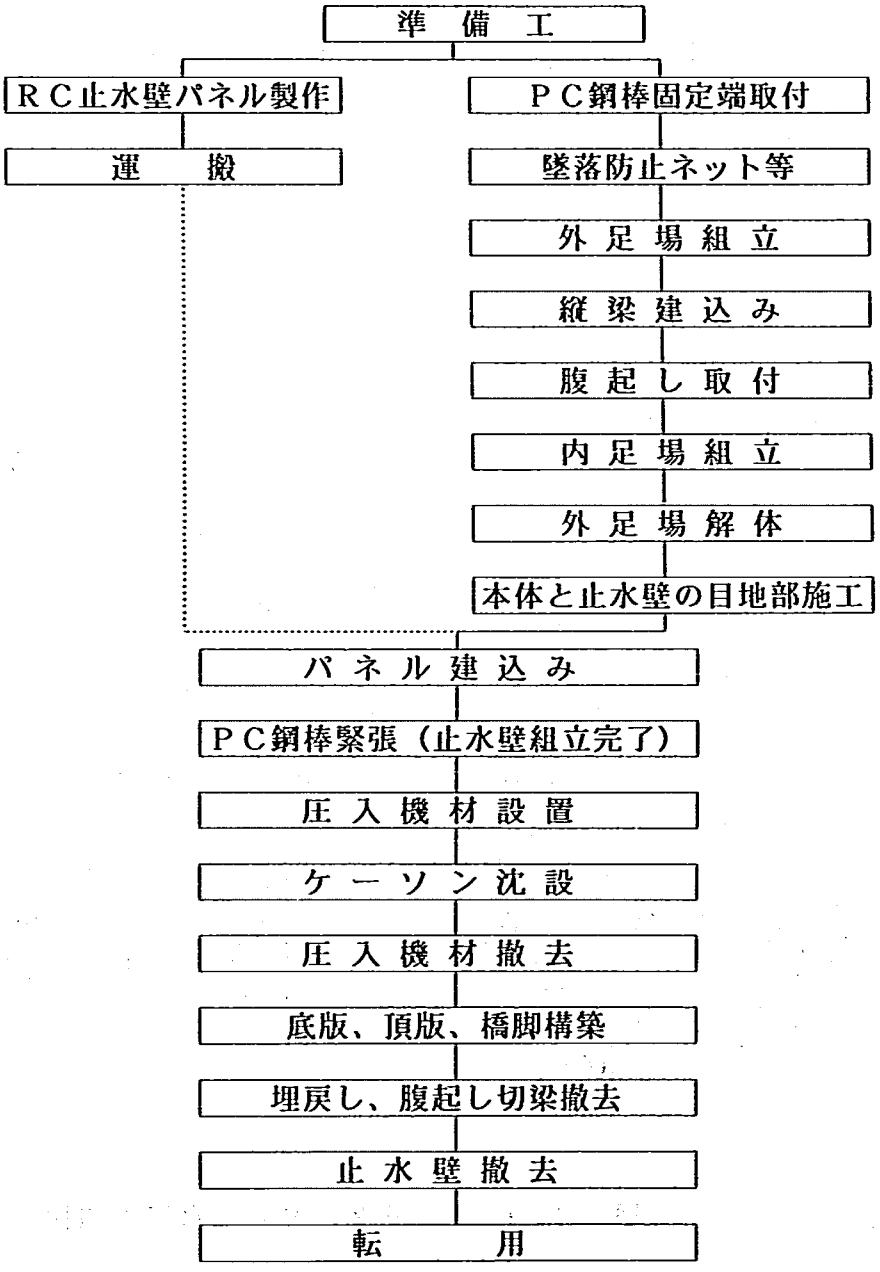
堤防本体にオープンケーソンを施工するにあたり、緩み等、堤体に及ぼす影響が懸念され、余盛や先掘を少なくするため圧入工法を併用した。

当初計画では鋼矢板止水壁であったが、圧入荷重１，５００～２，０００ｔに対して強度が不足していた。また、パラペットセンターに鋼矢板止水壁を設置した場合、堤体地盤と止水壁外面の間に空隙ができ、堤体を緩めることになる。このため、ケーソン外周と同寸法のＲＣ止水壁とすることにより、圧入荷重に対する強度を確保し、堤体地盤との間の空隙をなくした。

なお、プレキャストＲＣ止水壁は、縦方向に分割したパネルを製作し組み立て、完全撤去、転用が可能な構造にした。

3)施工フロー

図－４．１．２に施工フローを示す。



図－４．１．２　施工フロー

4)施工方法

①プレキャストＲＣ止水壁パネルの製作

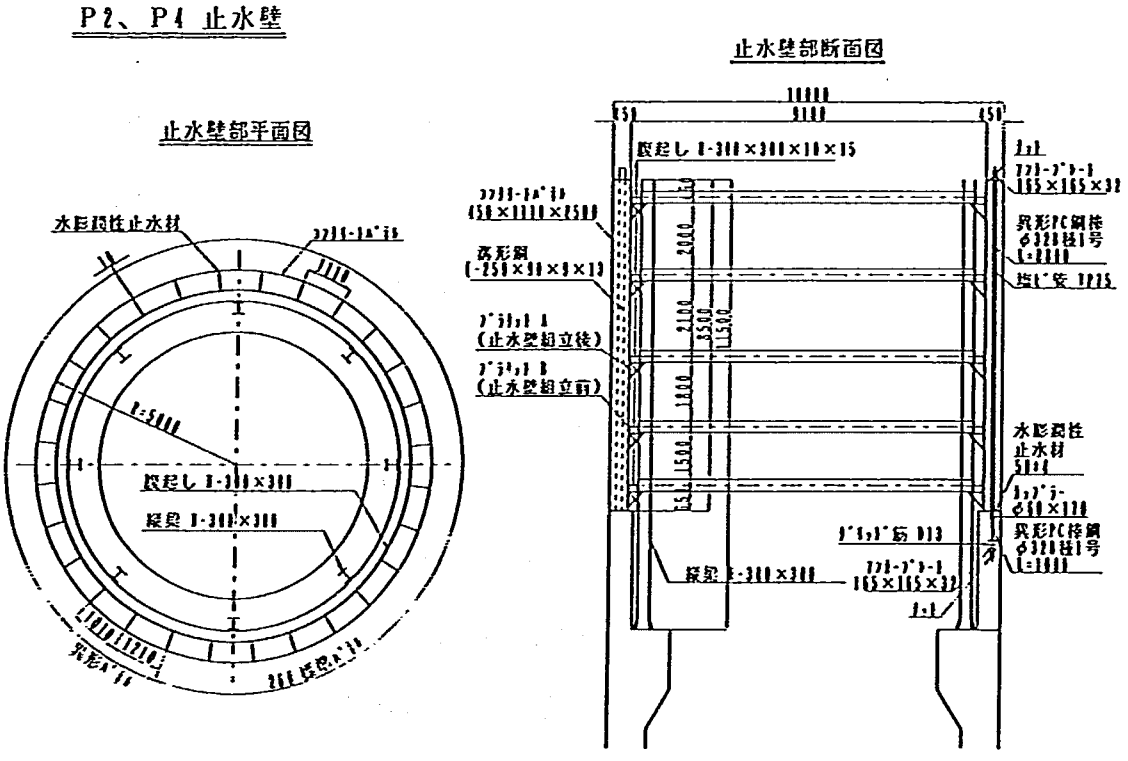
外径φ１４．００ｍは４０分割、φ１０．００ｍは２８分割したパネル（図－４．１．４Ａ標準タイプ）で製作し、内２枚は解体口としてテーパーパネル（図－４．１．４　Ｂ、Ｃタイプ）とした。図－４．１．３にはＰ２止水壁の形状を示す。

１ピースの重量は、運搬や組立時の施工性を考慮して約１０ｔとした。パネルの側面は溝型鋼を埋め込み、製作精度の確保と再使用時の止水材の貼付けや剥し作業が容易なようにした。

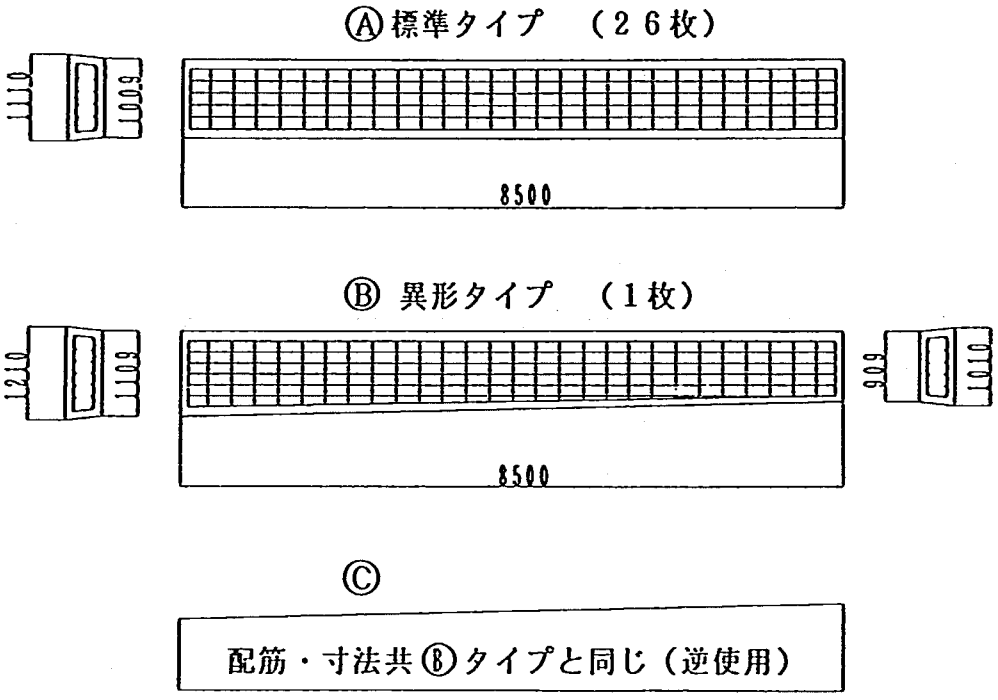
シース管にはＰＣ鋼棒φ３２㎜に対して、φ７５㎜のＶＰ管を使用した。

外面側に、Ｕ型に加工したφ３８㎜の鋼棒を２本埋め込み横持ち作業用のアンカー筋とし、建込み後切断して沈下の障害とならないようにした。吊込み、撤去作業は、長く出しておいた側面の溝型鋼に穴を開け、吊金具を取り付けた。

先に施工したＰ３止水壁は、天端よりＰＣ鋼棒が突出していたため、圧入の支圧桁設置の障害となった。Ｐ２止水壁はパネル天端を箱抜きし、ＰＣ鋼棒部が天端より突出しないよう構造にしたところ、支圧桁設置が容易であり良好な結果であった。



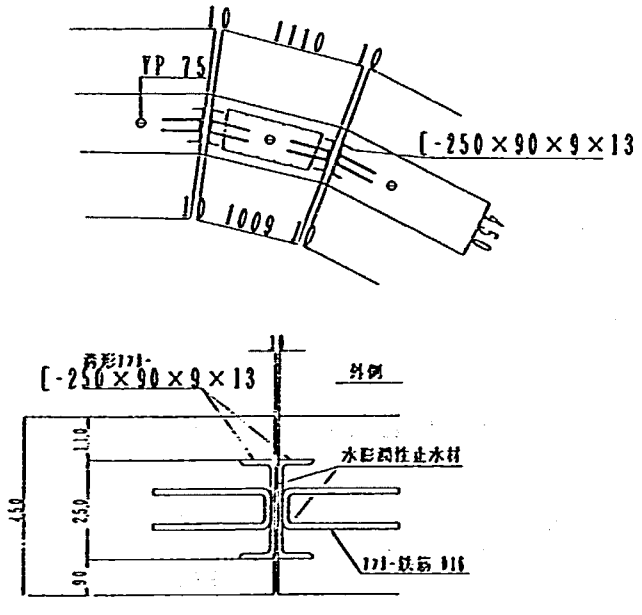
図－４．１．３　Ｐ２、Ｐ４止水壁構造図



図－４．１．４　コンクリートパネル詳細図

②目地の施工

目地には図－４．１．５のように水膨潤性止水材を貼付した。止水壁パネルは現場で製作した。鋼材のひずみや、型枠の転用による変形などで製作誤差が発生し、組立時には一部に目地の開きが広い場所も見られたので、このような箇所は沈下に合わせてモルタルを充填した。目地間隔精度の良いところの止水性は良好であった。



図－４．１．５　コンクリートパネルジョイント詳細図

③止水壁の組立

１．１１×０．４５×８．５０ｍで１個当り約１０ｔのパネルを建て込むためには、仮受材と作業足場が必要である。写真－４．１．１のように、H－300×300の縦梁と腹起しを先に組み立て、写真－４．１．２のように止水壁パネルを順次固定して全体を組み立てた。写真－４．１．３組立完了状況である。なお、縦梁は頂版コンクリートの構築前に撤去した。

ブラケットを取り付けるため、プレートに袋ナットを溶接しパネルに埋め込んでおいたが、モルタルが回ったり袋ナットの位置が適当でなかったりしたため、作業性が悪かった。等辺山型鋼等を埋め込んでおき、これにナットを溶接する方法等の方が適当であったようである。

④止水壁の撤去

腹起し材撤去後、ＰＣ鋼棒を緩め55ｔ吊りクレーンで１枚ずつ吊り上げて撤去した。１枚目はテーパーパネルであったが、撤去は困難であったため、周囲を掘ったり、振動を与えたりして漸く撤去した。なお、２枚目以降の撤去は容易であった。支圧力などで角が破損したパネルもあったが、補修してＰ４止水壁に再利用した。

5)所要工程

Ｐ２止水壁の所要工程を以下に示す。数量は約１０ｔ/枚のパネルが２８枚である。なお、作業員は２基目の施工であり、作業員も経験者である。

［製作］

プレキャストＲＣ止水壁製作	21日
養　　生	14日
計	35日

［設置］

組立用足場設置	2日
山留支保工（縦梁）設置	2日
〃　（腹起し）設置	3日
パネル小運搬	3日
パネル組立（止水材貼付含む）	4日
ＰＣ鋼棒緊張	1日
組立用足場解体	2日
計	17日

［撤去］

山留支保工解体（埋戻し含む）	5日
ＰＣ鋼棒緩め	1日
パネル撤去	4日
パネル小運搬	3日
計	13日

6)安全管理のポイント

重量物を取り扱う高所作業となり危険性は大きい。作業手順書による事前打合せを充分に行った上、

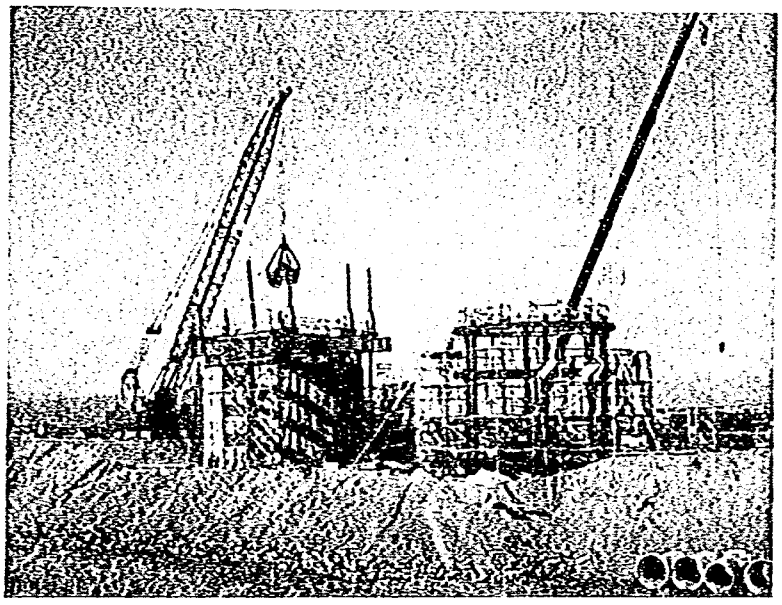
①開口部養生

②重機足場の確認

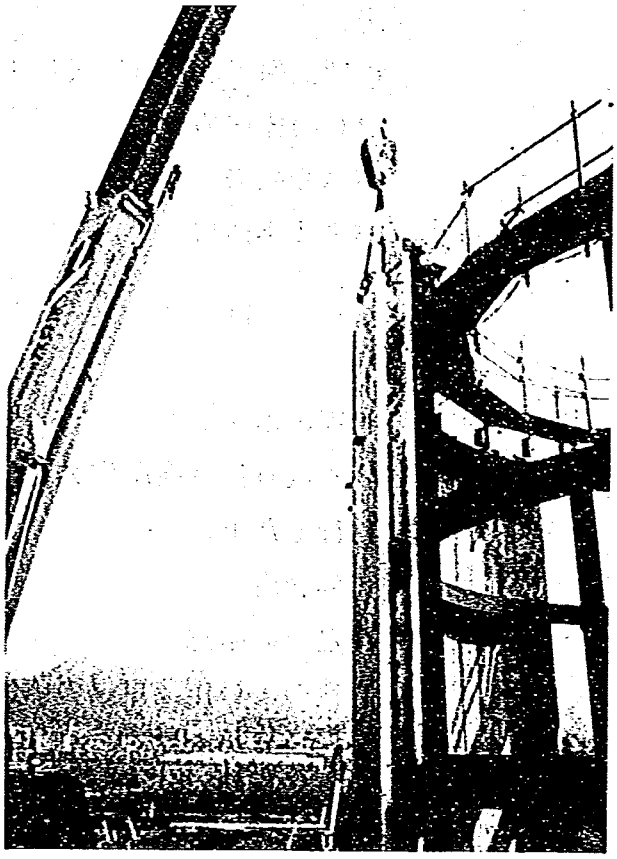
③作業性のよい作業足場の確保

④玉掛け用具の点検

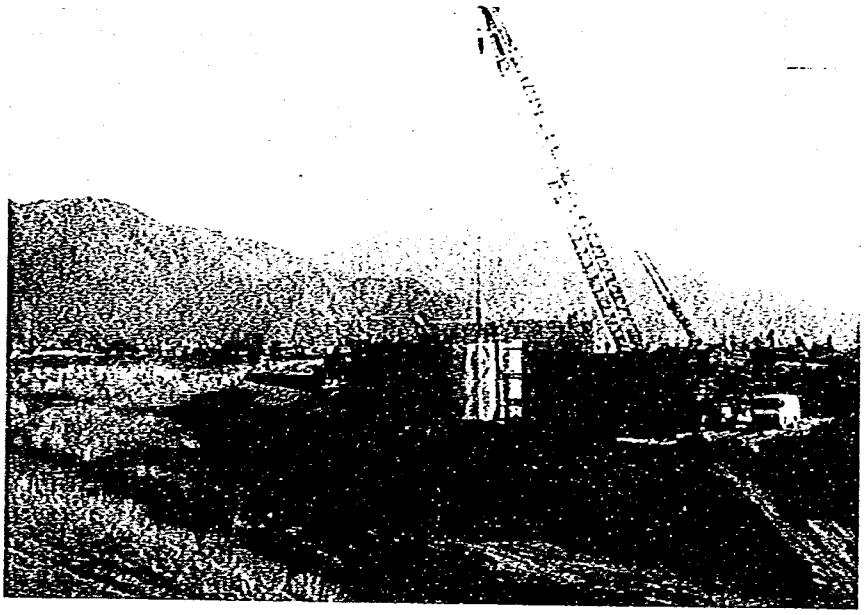
に特に留意して施工した。



写真－４．１．１　縦梁、腹起し組立（右側）



写真－４．１．２　パネル組立



写真－４．１．３　組立完了

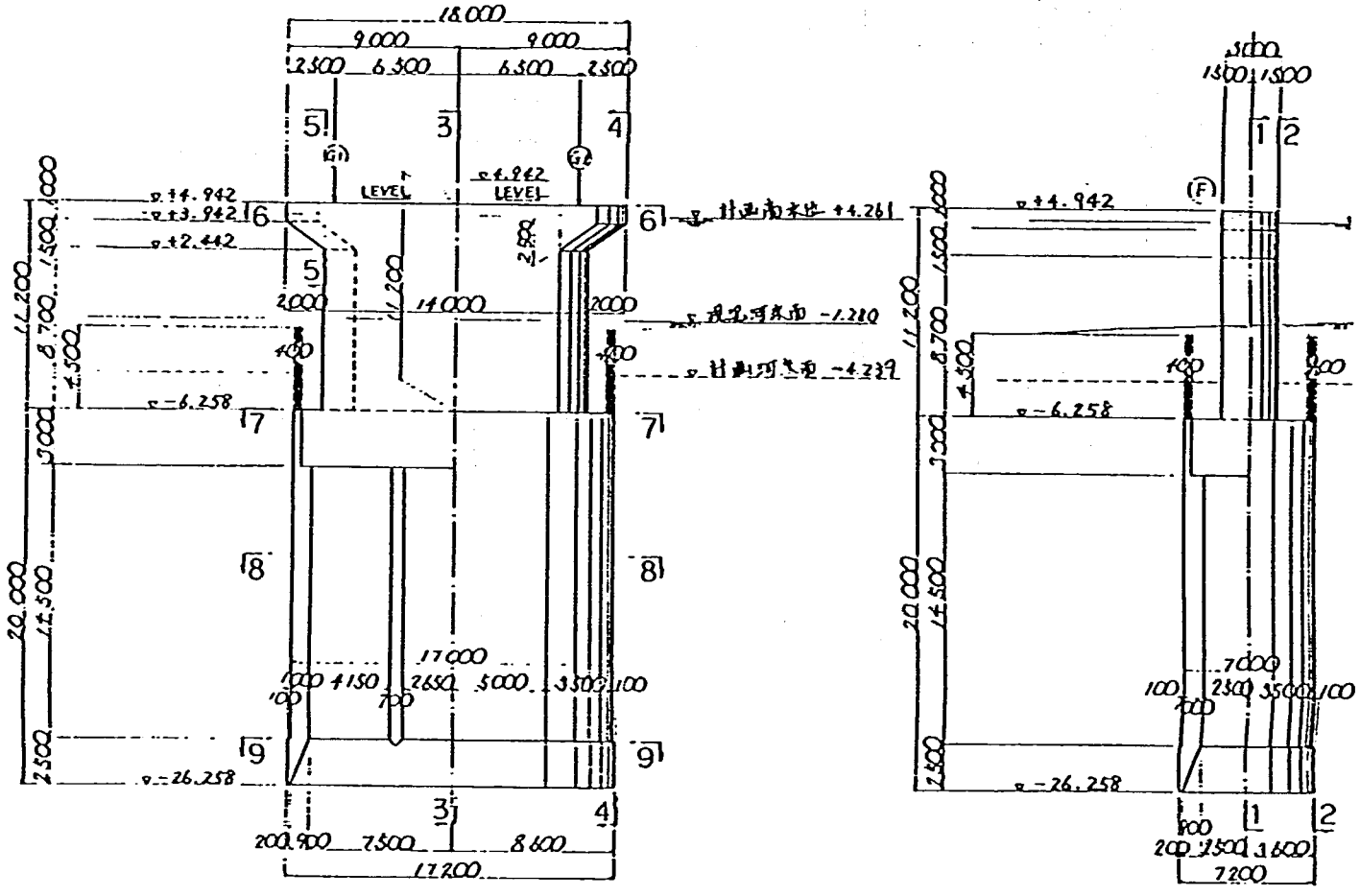
4．1．2　事例２：分割パネルの逐次引上げ

1)概要

オープンケーソン工法による橋梁基礎である。

被圧水位が非常に高いこと、近い将来河床を浚渫する計画があるため計画河床まで止水壁を完全に撤去する必要があること、等を理由にプレキャストＲＣ止水壁の分割パネル逐次引き上げ工法が採用された。

なお、ケーソンは小判形で、７．０ｍ×１７．０ｍ、深度２４．５ｍである。



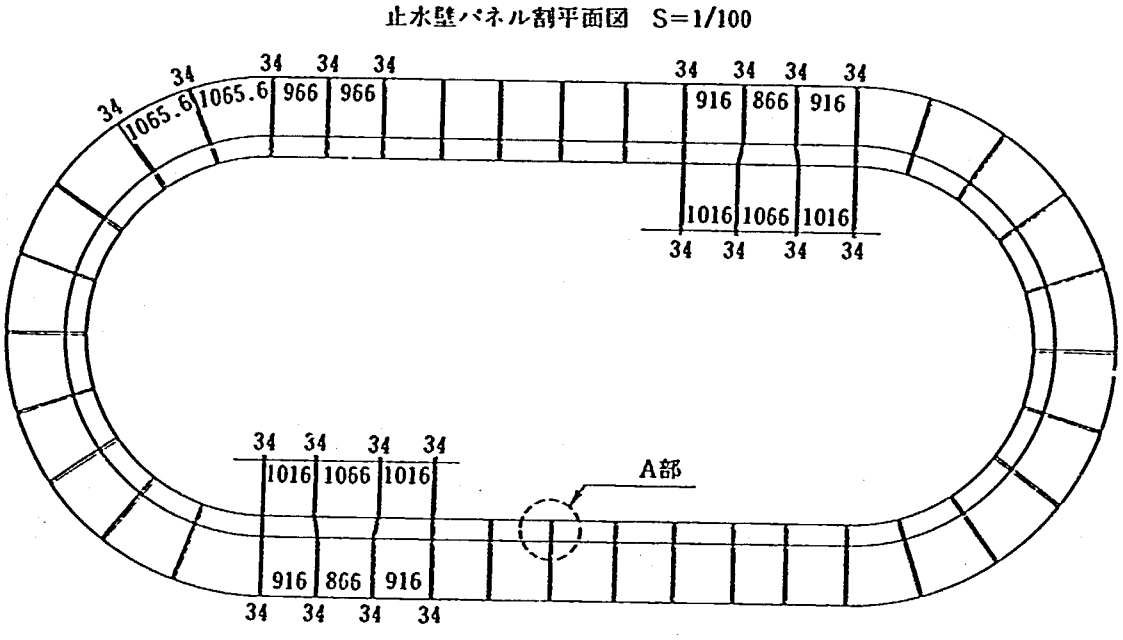
図－４．１．６　橋脚構造一般図

2)止水壁構造

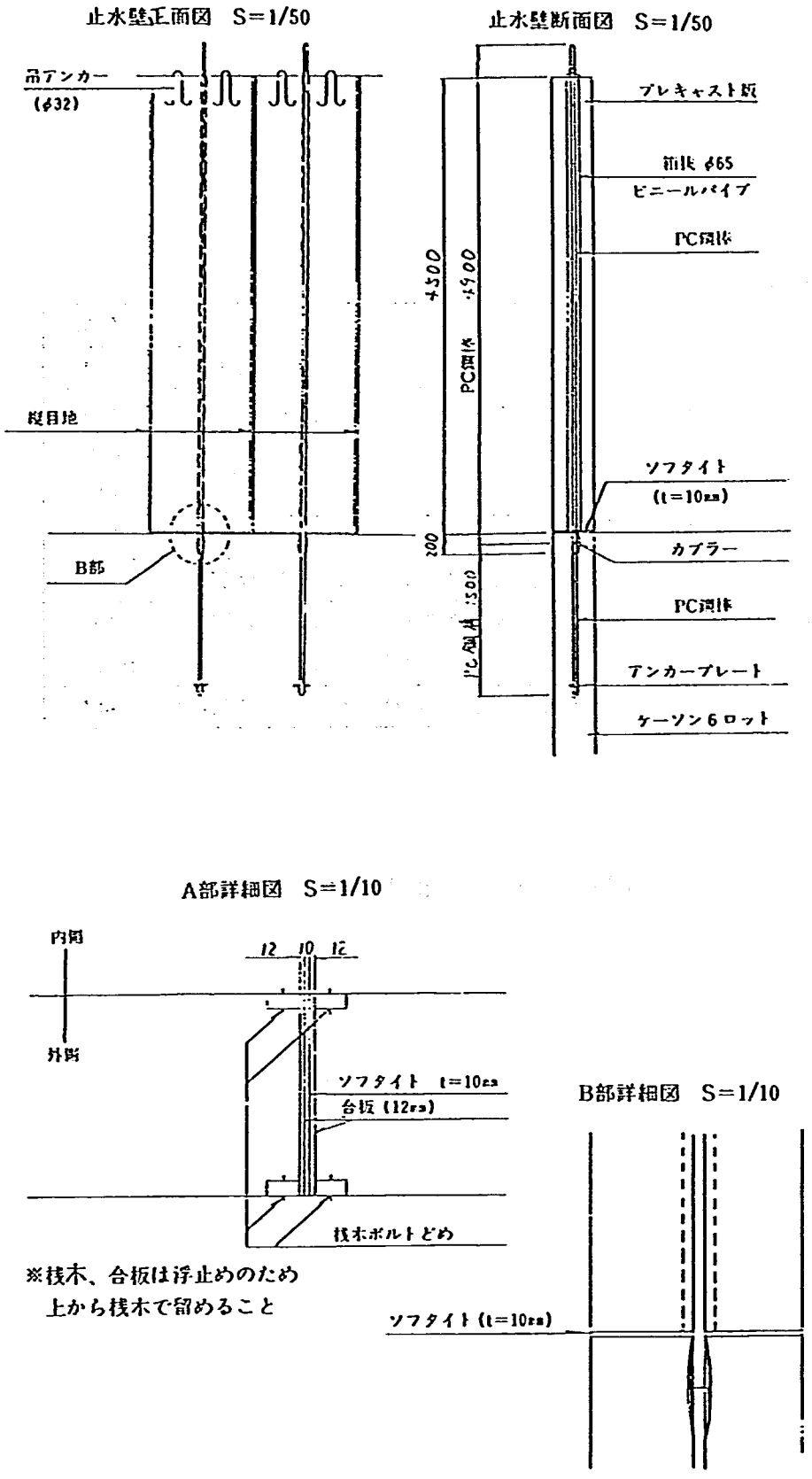
プレキャストブロックは、撤去時の１ブロックあたりの重量を考慮し、４０ブロックに分割した。横目地はソフタイト(ｔ＝１０㎜)を敷き、２枚の合板パネル(ｔ＝１２㎜)に挟まれたソフタイトを縦目地とした。また、撤去が容易になるように直線部に２ヶ所テーパーパネルを設けた。

各ブロックは、ケーソン第６ロット構築時に設置したアンカー鋼棒とＰＣ鋼棒を連結、緊張することにより、ケーソン沈設時の周面摩擦力と浮力にものとした。

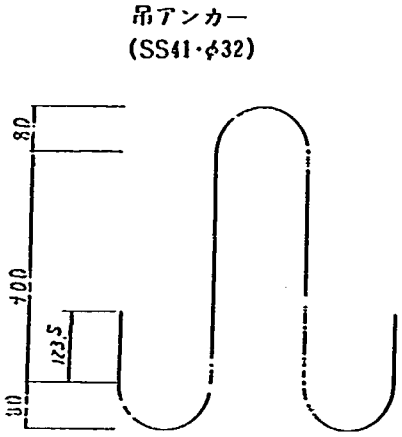
止水壁構造図を図－４．１．７～９に示す。



図－４．１．７　止水壁パネル割り平面図



図－４．１．８　止水壁構造図(a)



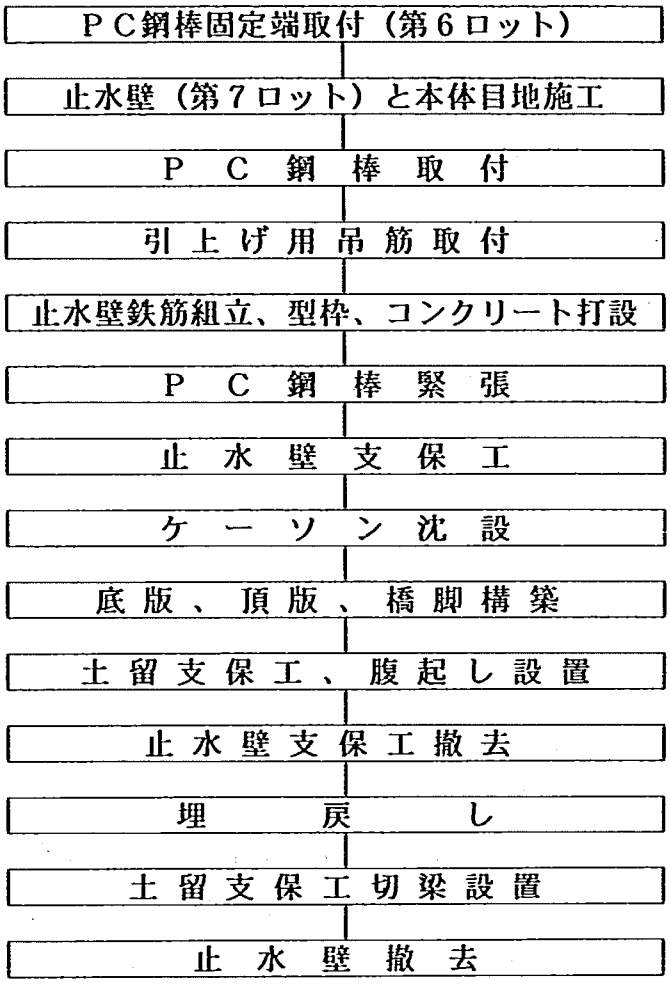
数 量 表

種　別	サイズ	数量
PC鋼棒 φ26	ℓ＝4 900	40本
PC鋼棒 φ26	ℓ＝1 500	40本
アンカープレート		80個
ナット		80個
カプラー		80個
箱抜φ65 ビニルパイプ	ℓ＝4 500	40本
縦目地ソフタイト	10㎜	72.0㎡
横目地ソフタイト	10㎜	16.29㎡
吊アンカー(SS41・φ32)	ℓ＝1 800㎜	80本

図－４．１．９　止水壁構造図(b)

3)施工フロー

図－４．１．１０に施工フローを示す。



図－４．１．１０　施工フロー

4)施工方法

(1)土留支保工

止水壁撤去前に土留支保工を設置した。

(2)止水壁支保工撤去

止水壁支保工の撤去手順を以下に記す。

①土留支保工腹起し設置

②盛替梁（４吋角、３０cm間隔）

③下段腹起し、切梁撤去

④油圧クラムシェルを用いて上段まで埋め戻し

⑤上段腹起し、切梁撤去

⑥土留支保工切梁設置

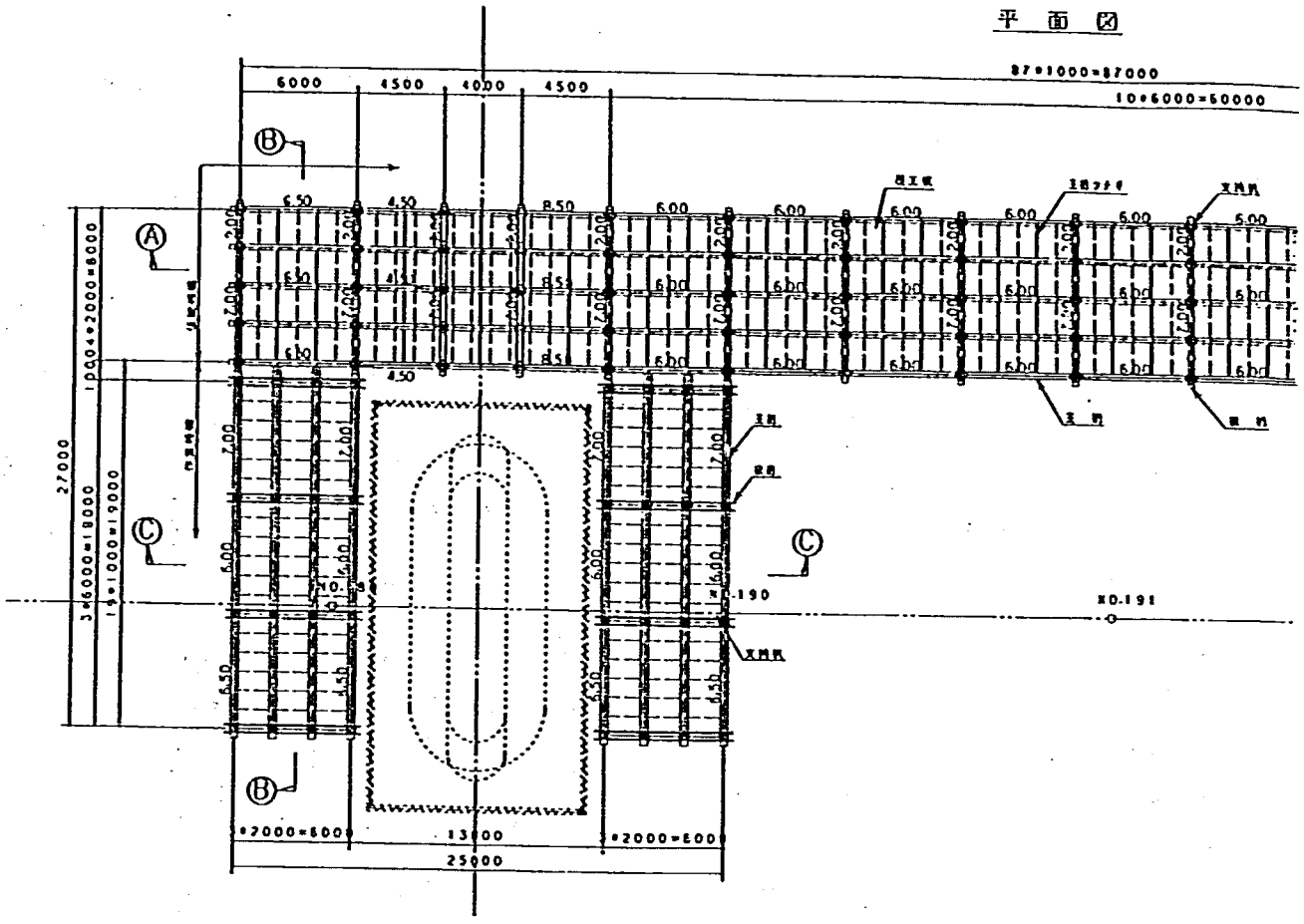
⑦ＰＣ鋼棒解放

⑧止水壁撤去

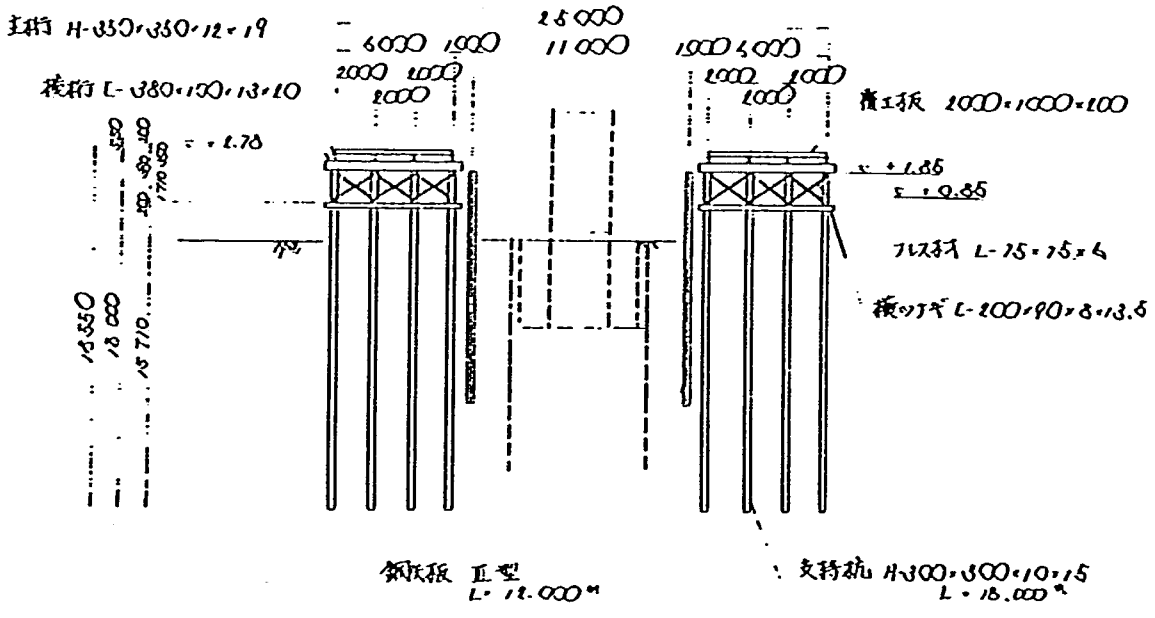
(3)止水壁撤去

テーパーパネルは土留鋼矢板を反力にジャッキで内側に倒し、５０ｔラフタークレーンで吊り上げる計画であったが、隣の壁とせり合って吊上げできなかった。そこで、ケーソン内の埋戻し土を、油圧クラムシェルにより天端から２．５ｍまで除去した後、バイブロハンマー(60PS)を用いて引き抜いた。２枚目以降は、ラフタークレーンで片側に倒しながら引き抜いた。所要日数は１０日。

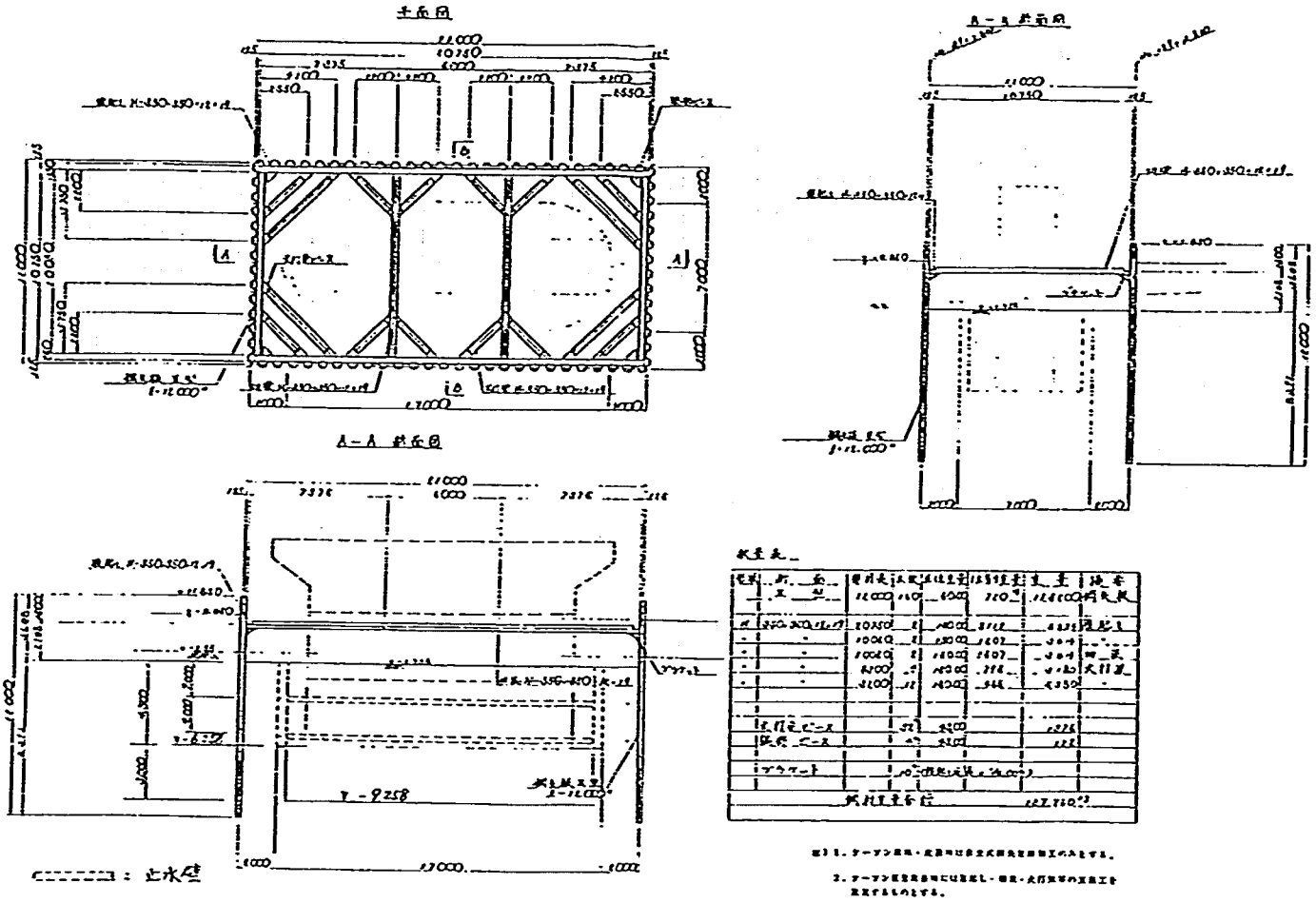
～橋脚・仮設桟橋・土留矢板　関係図～



C－C　断面図



図－4.1.11　仮設図



図－４．１．１２　土留め工一般図

4．1．3　事例３：水平４分割の一括引上げ

1)概要

臨港部のバイパス道路の橋脚オープンケーソンであり、平面形状は小判形(7．5m×２０．０m, h＝５７．５m, うちプレキャスト部１３．０m)である。

海底面より上の止水壁は、周辺環境への配慮のため海域を汚染しないことが要求されたため、当該部分の転用性も考慮し、４分割の現場打ちプレキャストＲＣで施工し、ＰＣ鋼棒で各ブロックを一体化した。

止水壁の撤去はＰＣ鋼棒を切断しながら１ブロックずつクレーンで吊り上げる方法とした。

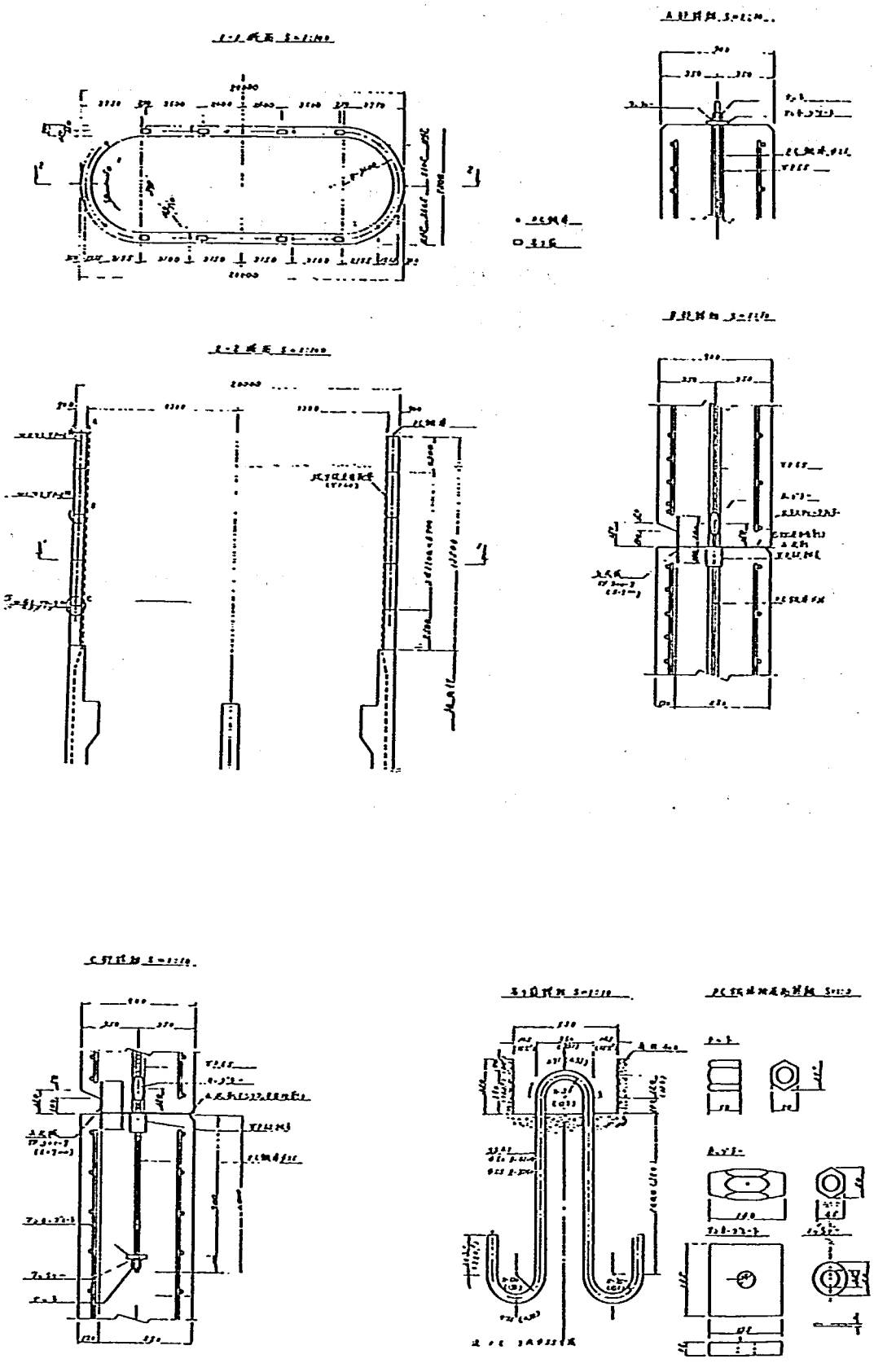
図－４．１．１３にケーソン一般構造図を示す。

2)止水壁構造概要

止水壁は図－４．１．１３に示す通り(２０m×７．５m, 高さｈ＝１３．０m, 壁厚ｔ＝０．７m)の小判形ＲＣ構造であり、ブロックの縦方向の一体化を図るためＰＣ鋼棒により緊張した。

長辺方向の外力により発生する曲げ応力に対応するため、中間杭、腹起しおよび切梁を設置した。

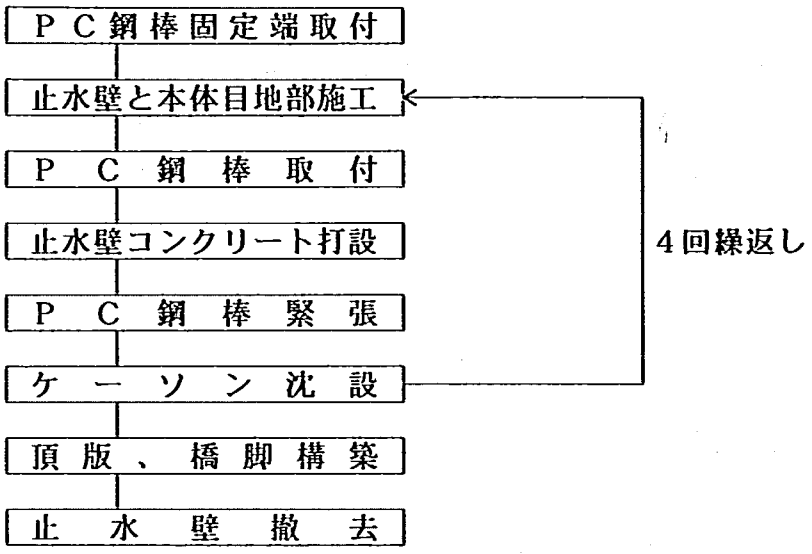
この構造で、沈設完了後プレストレスを解放することにより、容易に各ブロックの分離が可能となり、転用も可能となった。



図－４．１．１３　止水壁構造図

3)施工フロー

図－４．１．１４に施工フローを示す。



図－４．１．１４　施工フロー

4)施工方法

①ＰＣ鋼棒の配置

φ２６㎜のＰＣ鋼棒を図－４．１．１３の通り８本配置した。

②目地の施工

止水板(TF300-7)と縁切り材（エラスティックフィラー）、およびシリコン系止水材を使用して図－４．１．１３のように施工した。

③引上げ用吊筋

φ６０㎜の丸鋼を９０cm埋め込んで施工した。

④引上げ撤去

ケーソン内外の水位差をなくすため函内に注水し、ＰＣ鋼棒の緊張解放後止水板を切断した。吊上げには、３００ｔ吊りフローティングクレーン船を使用した。

撤去した止水壁は台船に積み込み、仮置場へ移送した。

5)工程

準備	１日
引上げ、移送（４ブロック）	４日
合　計	５日

4．1．4　事例４：分割パネルの逐次引上げ

1)概要

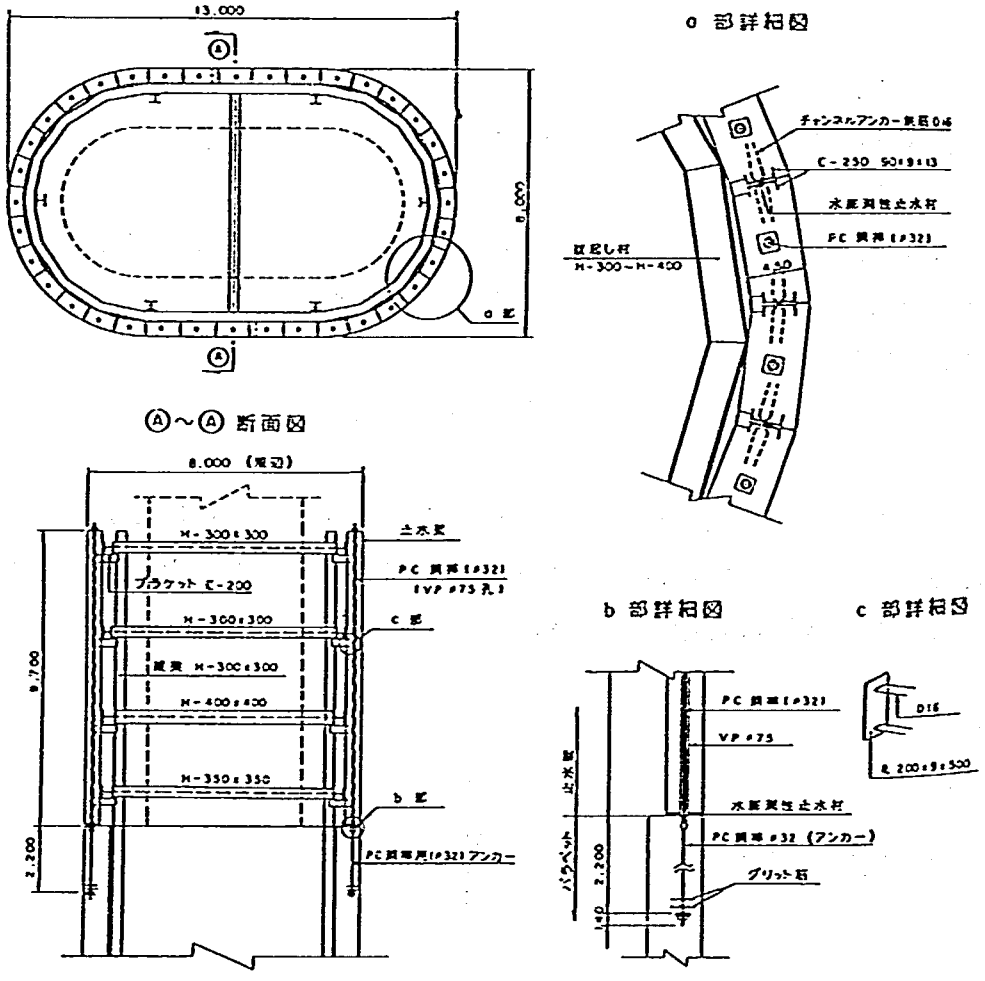
主要地方道の橋梁架替工事（下部工）の内、橋脚４基をオープンケーソンで施工したものである。このうち３基については、施工時期が渇水期に限られているため工期がきびしく、従来の現場打ちＲＣ止水壁では時間がかかるため、組立式で、撤去時には引抜き可能なプレキャストパネルを止水壁として採用した。

なお、ケーソンは小判形、８．０×１３．０ｍ、深度３４．７ｍである。

2)止水壁の構造

止水壁は、高さ８．７ｍ、壁厚０．４５ｍ、コンクリートパネルは１基当り３６枚、各パネルの幅は１．０ｍ、重量は約１０ｔである。なお、引抜きを容易にするため、最初に引き抜くパネルの形状をくさび形にして、両隣のパネルとの摩擦抵抗を減らす構造とした。（図－４．１．１７参照）

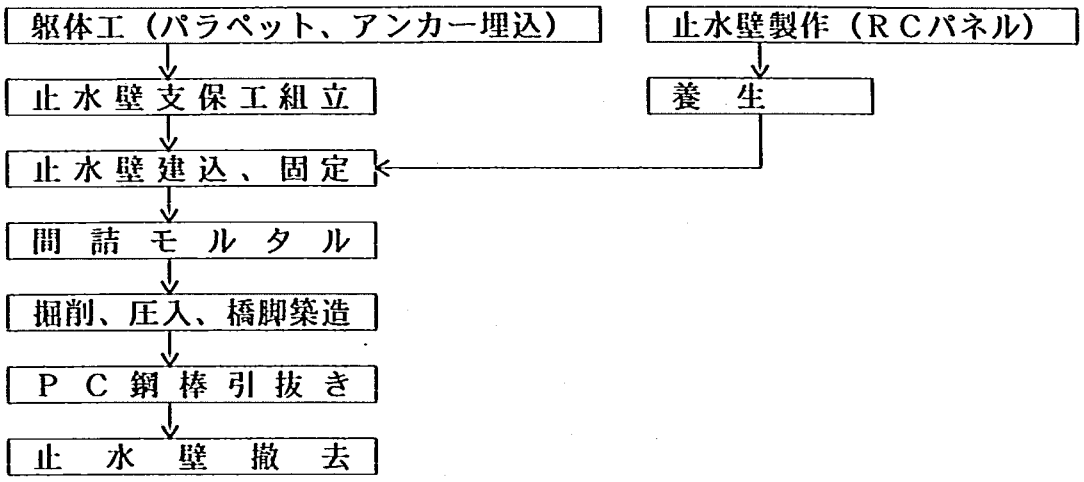
止水壁とケーソン本体はＰＣ鋼棒で締結する構造とし、各パネルの側面および本体ケーソンとの接続部には水膨張性止水材を貼付した。また、止水壁の内側に支保工として縦梁（H-300×300）、腹起し（H-400×400）を設置した。



図－４．１．１５　止水壁構造図

3)施工フロー

図－４．１．１６に施工フローを示す。



図－４．１．１６　施工フロー

4)施工方法

①ンクリートパネル製作

コンクリートパネルは、１基当り３６枚、３基で１０８枚を現場製作した。

製作日数は、１８パネルを１サイクルとして１４日、全パネル(１０８枚)では３ヶ月を要した。

②ＰＣ鋼棒用アンカー設置

ケーソン最終ロット天端にＰＣ鋼棒(φ３２)接続用カップラーを設置した。(図－４．１．１５参照)

③止水壁建込み

止水壁パネルはクローラクレーンで建込み、ケーソン本体に埋め込んだカップラーにＰＣ鋼棒を接続した。ＰＣ鋼棒は、圧入時の周面摩擦力による浮上がり防止のためセンターホールジャッキ(２０ｔｆ)で緊張した。

④止水壁撤去

止水壁引抜き時の使用機械は、以下の通り。

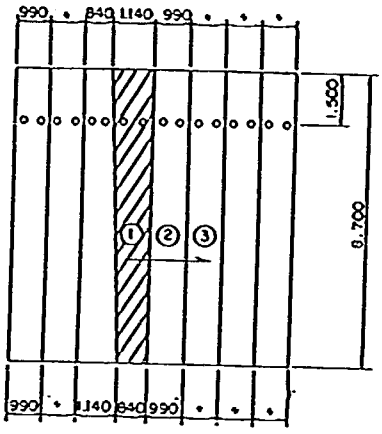
クローラクレーン(６０ｔｆ)

発動発電機(３００ｋＶＡ)

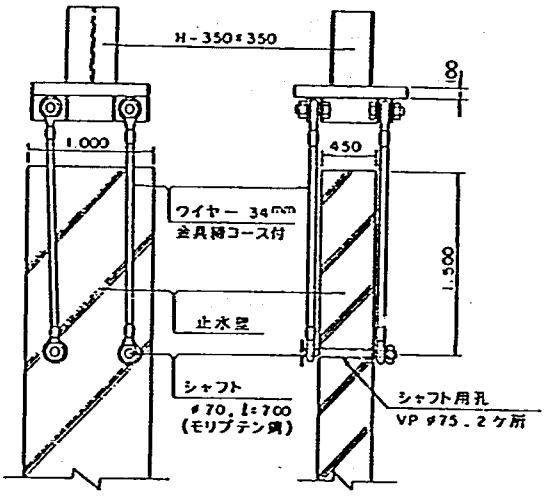
バイブロハンマ(９０ｋＶＡ)

バイブロハンマ用アタッチメント（図－４．１．１８参照)

引抜きには、１基あたり２日を要した。



図－４．１．１７　パネル形状と引抜き順序



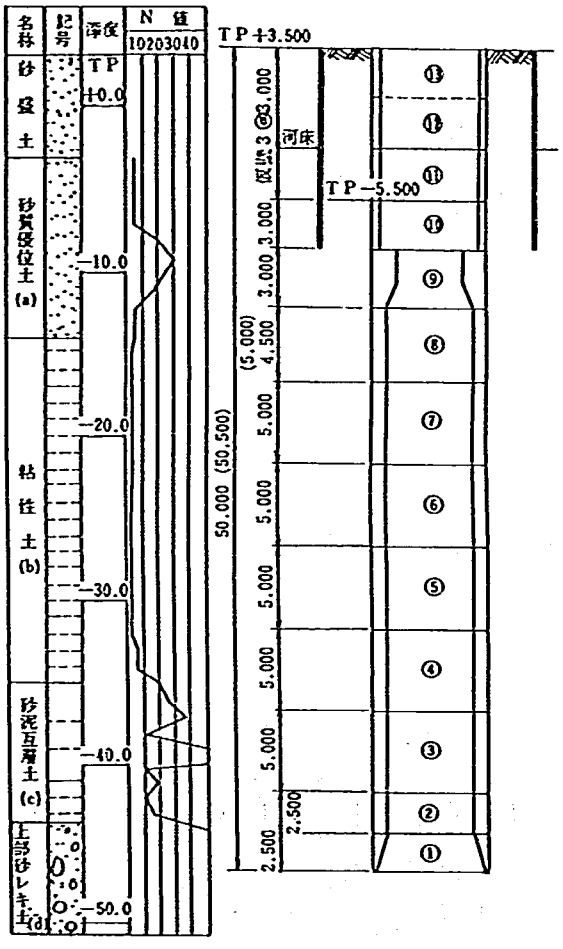
図－４．１．１８　バイブロ用アタッチメント詳細図

4．1．5　事例５：分割パネルの逐次引上げ

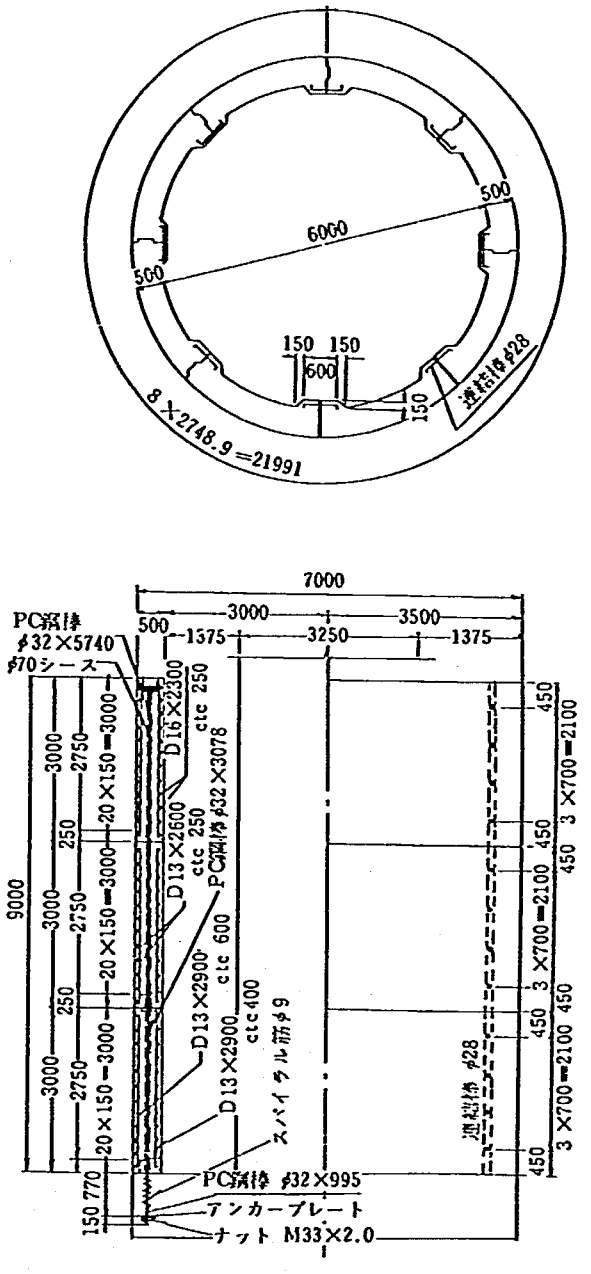
(1)概要

橋梁整備工事において、８基のオープンケーソン基礎をプレキャストＲＣの止水壁を用いて施工した事例である。

フーチング天端から河川平水位まで比較的高い止水壁を必要とした。また、止水壁には、沈下のための自重と渇水期内の完全撤去が要求された。



図－４．１．１９　ロット割付図



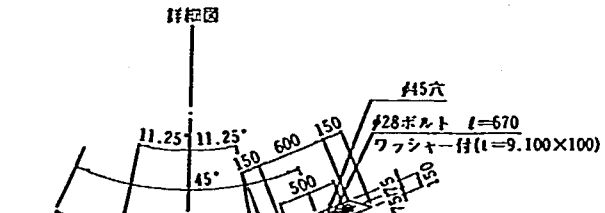
図－４．１．２０　止水壁一般図

(2)止水壁構造概要

止水壁は円形形状で、外径φ７．０ｍ、高さ３．０ｍ、壁厚５０㎝のプレキャストＲＣを３段積み重ねて施工する構造であった。（図－４．１．１９、４．１．２０参照）

止水壁の連結部は、沈設時の周面摩擦によって生じる吊下げ状態に対応するため、本体との接合およびＰＣブロックの縦方向の接合はＰＣ鋼棒で行い、また、隣接ＰＣブロックとの横方向の接合には、φ２８㎜、ℓ＝６７０㎜の連結ボルトを１ロット当たり４本締結する構造となっている。（図－４．１．２１参照）

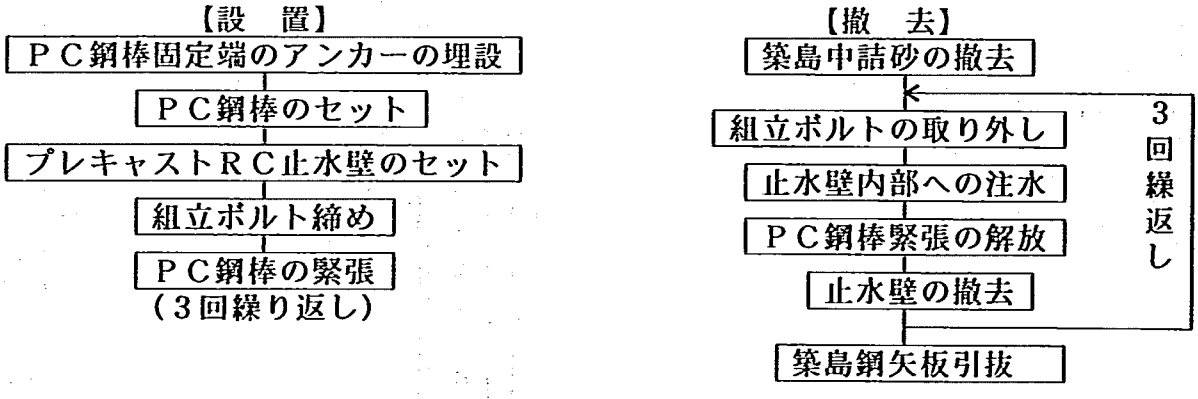
止水壁の撤去は、連結ボルトを取り外し、ＰＣ鋼棒の緊張を解放して短期間に撤去を完了している。



図－４．１．２１　ＰＣブロック詳細図

(3)施工フロー

図－４．１．２２に施工フローを示す。



図－４．１．２２　施工フロー

(4)施工方法

【設　置】

①ＰＣ鋼棒固定端のアンカーの埋設

ＰＣ鋼棒のアンカーはアンカープレートとナットをφ３２㎜のＰＣ鋼棒に取り付け、本体の中に７７０㎜定着している。

②ＰＣ鋼棒のセット

③プレキャストブロックの設置

８分割されたプレキャストＲＣ止水壁を順にセットし、最後にキーブロック（両端がほぞになっていないもの）を設置している。

組立ボルトは１ブロック毎に仮締めを行い、１リングの組立が完了した時点で本締めを行っている。

④ＰＣ鋼棒の緊張

緊張は６０ｔｆで行っている。

【撤　去】

①築島中詰砂の撤去

②組立ボルトの取り外し

③止水壁内部への注水（平水位まで）

④ＰＣ鋼棒緊張の解放

⑤止水壁の撤去（止水壁③はドライワーク、①、②は潜水作業）

⑥築島矢板の引抜き

【所用工程】

設　置：１ロット当たり２日

撤　去：全体で３日

【安全管理のポイント】

止水壁の組立・撤去はスムーズに進行し、止水性も比較的良好であった。

・重量物の取り扱い

・組立ボルトの緊張あるいは解放する際の足場確保

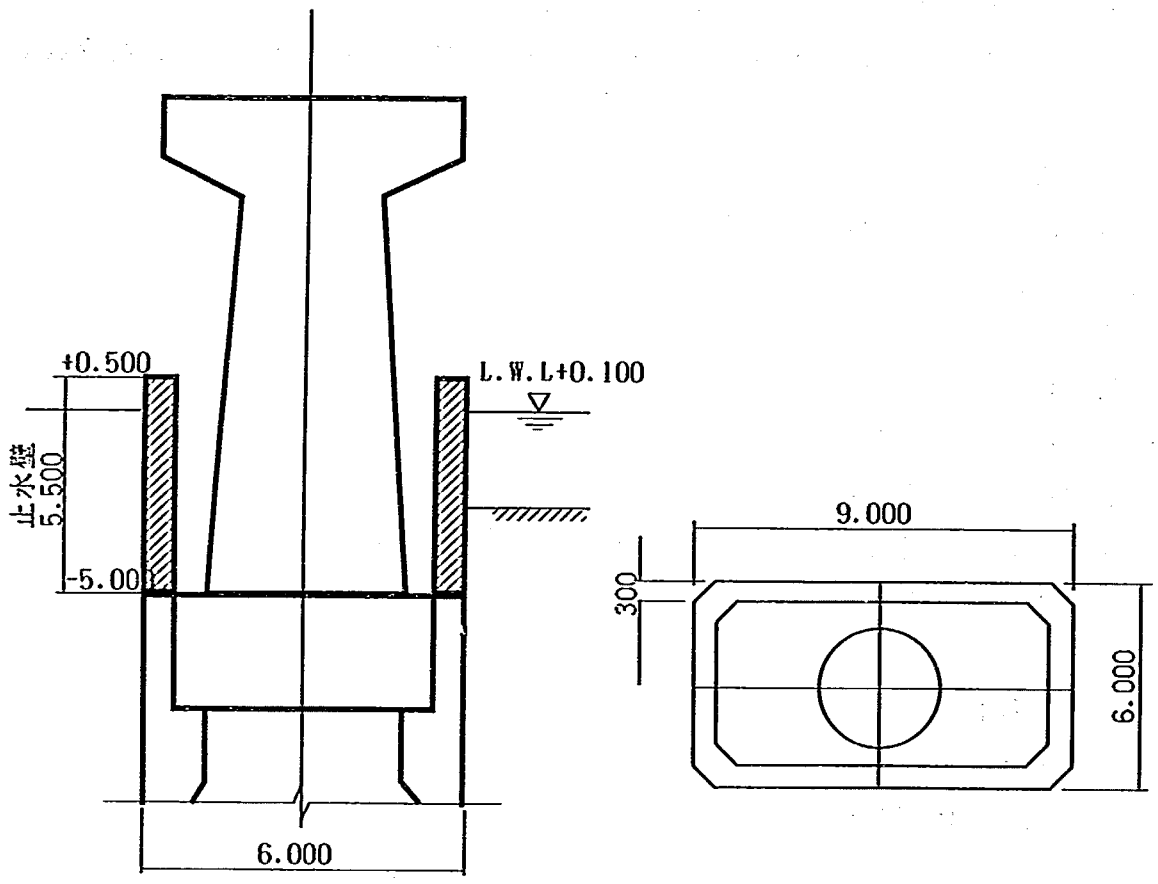
4．2 現場打ちＲＣ止水壁

4．2．1 事例6：一括引上げ

1)概要

オープンケーソン工法で施工された、観光地に隣接する橋梁基礎で、周辺環境から静的な撤去が可能であるとともに、計画河床以下まで完全に撤去できる工法が求められ、橋脚上の鋼製桁に配置されたセンターホールジャッキによる一括引上げ工法（ＶＳＬ工法）が採用された。

ケーソン規模　矩形６．００×９．００ｍ　深度１９．００ｍ（図－４．２．１参照）



図－４．２．１　止水壁一般図

2)止水壁構造概要

止水壁は、矩形形状６．００×９．００ｍ、高さ５．５０ｍ、壁厚３０㎝のＲＣ構造で、縦方向の鉄筋は撤去を容易にするため、パラペット部に定着しない構造とした。

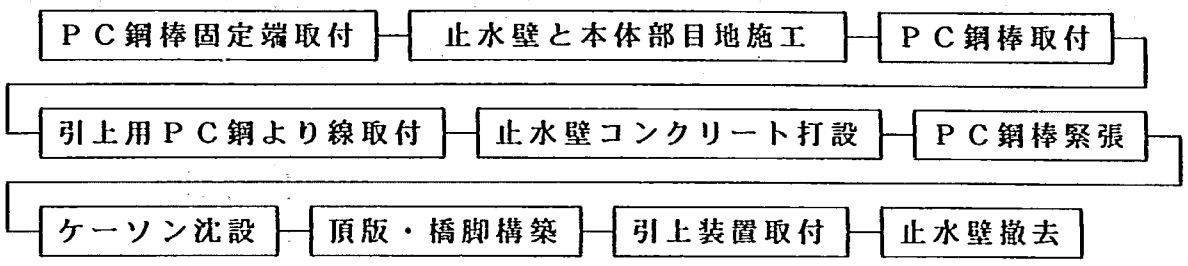
このため、止水壁に作用する引張力に対抗するため、パラペット部にＰＣ鋼棒定着部を設けカップラーを介して止水壁を締結した。

これにより、沈下完了後止水壁頂部よりプレストレスを解放することにより容易にケーソン躯体との分離が可能となる。

一括引上げに対し、止水壁内側下端に図－４．２．４に示すＰＣ鋼より線定着部を設け、橋脚頂部よりジャッキで引上げる構造とした。

3)施工フロー

図－４．２．２に施工フローを示す。

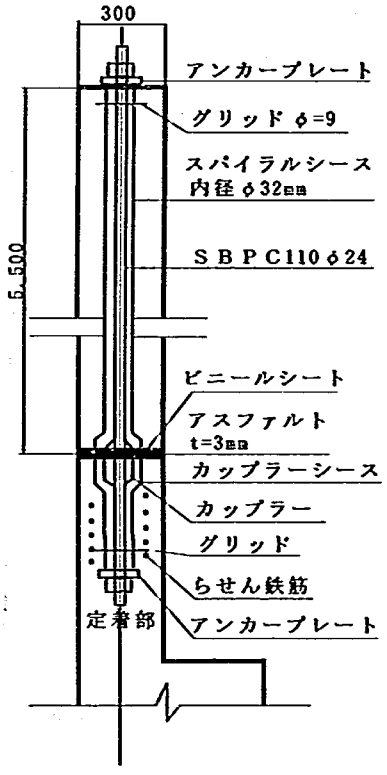


図－４．２．２　施工フロー

4)施工方法

①ＰＣ鋼棒の配置

鋼棒本数は、止水壁に作用する周面摩察力度を１．５tf/m²、アスファルトと止水壁底部の付着力を　１０tf/m²として算定し、図－４．２．３に示すように設置した。



図－４．２．３　ＰＣ鋼棒取付図

②目地の施工

ケーソン本体側壁天端コンクリートは入念に仕上げを行い、コンクリート硬化後、アスファルトを３㎜厚に塗布し、ビニールシート、厚紙、ビニールシートの順で縁切り材を取付け、引上時の剥離性の向上を図った。

③引上げ用ＰＣ鋼より線・ジャッキ

ＰＣ鋼より線は図－４．２．５に示すように止水壁内面４ヶ所に設置される。

引上げ時、鋼線に作用する力は、止水壁重量、周面摩擦力、目地部付着力であり、これらの合計重量に対し１．２倍の安全率を考え総重量を６００tfに決定した。

一ヶ所の鋼線に作用する引張力は150tfとなるため、φ１２．７㎜のＰＣ鋼より線を１２本一組として使用した。

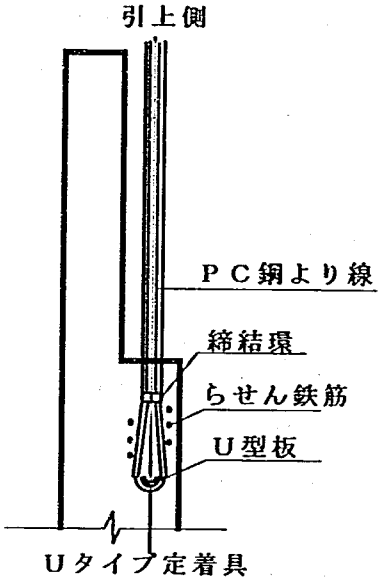
同様にセンターホールジャッキ（１５０tf）を４台配置し、ジャッキの上下に取付けたリフティング用くさびにより、ジャッキストローク分を順次盛替えながら引き上げた。

④引上げおよび撤去

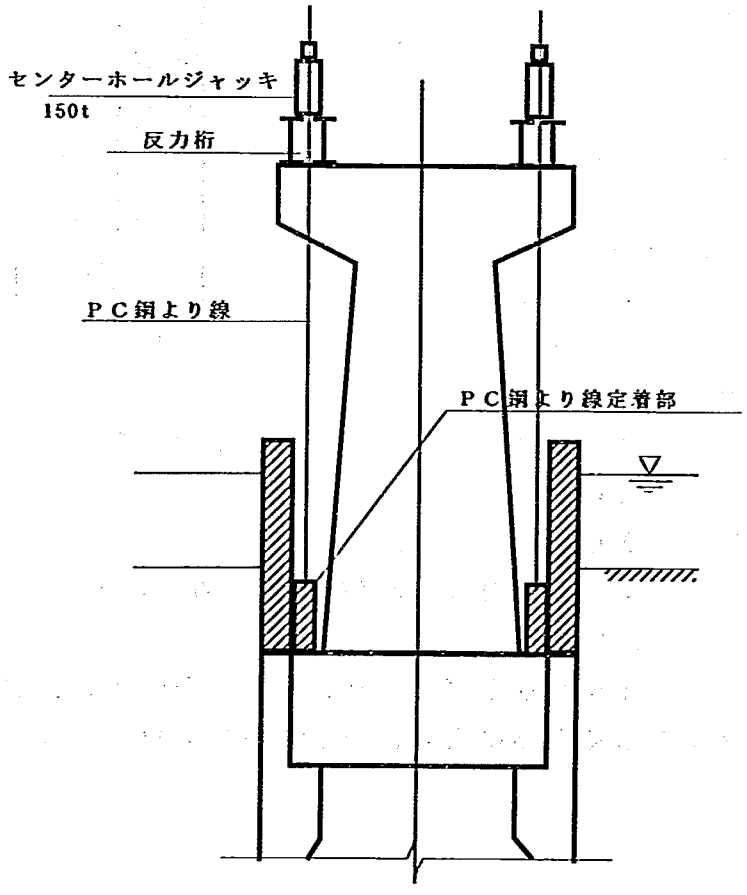
所定位置まで引上げられた止水壁は、予め止水壁躯体に取付られたいた発泡スチロールを撤去し鉄筋をガス切断する。これにより、止水壁は約６～８ｔのブロックに縦割りされ、クレーンにより支障の無い位置に運搬処分する。

5)所要工程（撤去）

引上装置等段取り	２日
引上げ	１日
止水壁縦割り	１日
クレーン吊上げ撤去	１日
計	５日



図－４．２．４
引上用ＰＣ鋼線取付図



図－４．２．５　吊上装置概要図

6)安全管理のポイント

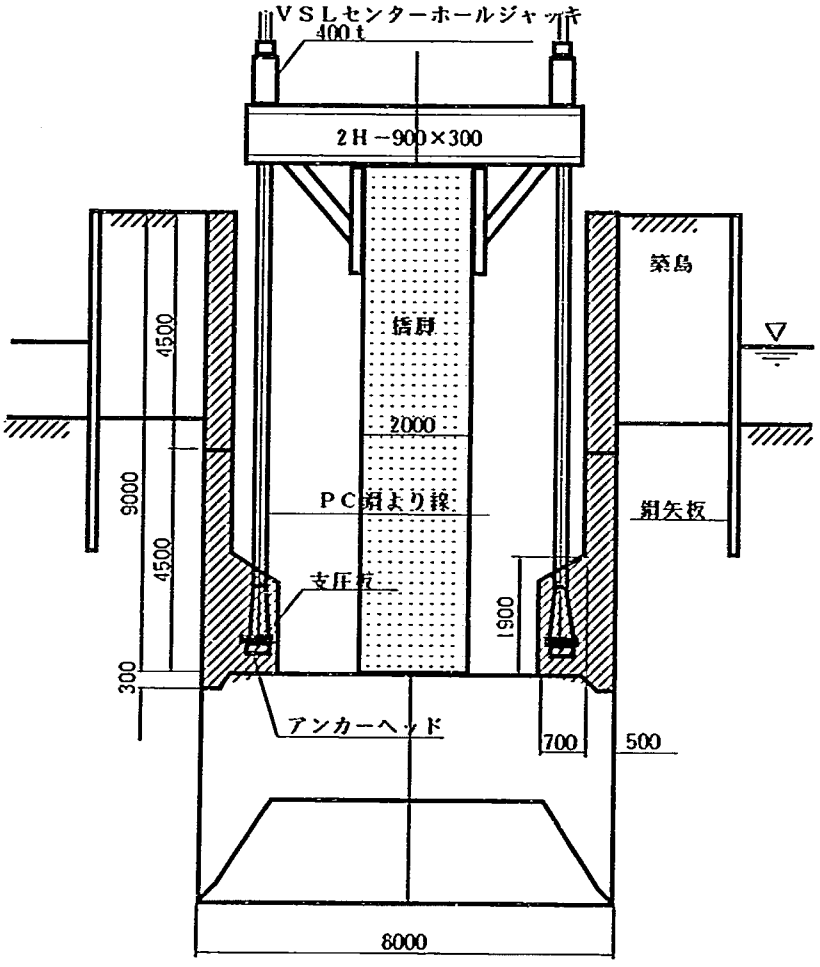
重量物を取扱う作業であり、所定の有資格者の配置、作業手順書に沿った作業の実施はもちろんであるが、計画時点では反力桁への荷重変化（偏荷重）を考慮し、桁の転倒防止用装置、即ち、ボルト等による橋脚への固定、油圧ジャッキの転倒防止装置を計画する必要がある。

4．2．2　事例７：一括引上げと再利用

1)概要

ニューマチックケーソン工法で施工された橋梁基礎で、計画河床からの完全撤去と次ケーソンへの止水壁の再利用による経済性向上を図るため、予め継手を有するＲＣ止水壁をケーソン躯体上で直接構築し、一括引上げ後、分割できる構造とした。(図－４．２．６参照)

ケーソン規模　　矩形１２．０×８．００ｍ　　深度９．００ｍ



図－４．２．６　止水壁一般図

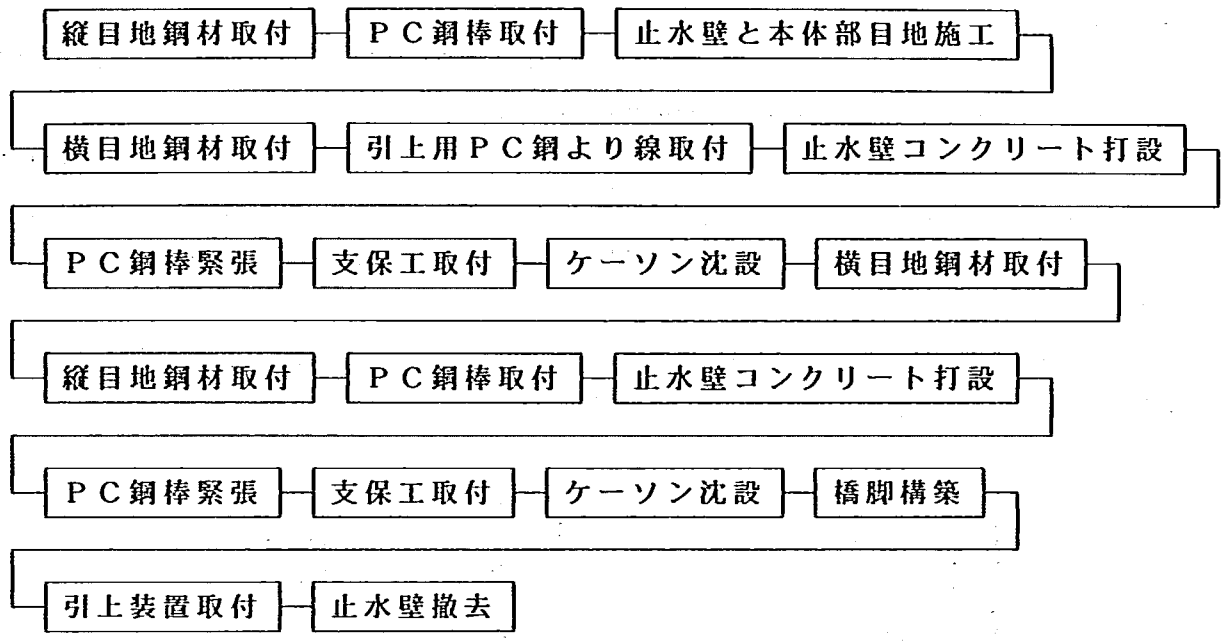
2)止水壁構造概要

止水壁は、矩形形状１１．８０×７．８０、高さ９．０ｍ（２ロット施工）・壁厚５０㎝のＲＣ構造で、止水壁構築は２ロット分を同時に施工するが、撤去時にブロック化できるよう横目地、縦目地を設けて施工し、これをＰＣ鋼棒でケーソン躯体に定着する構造とした。

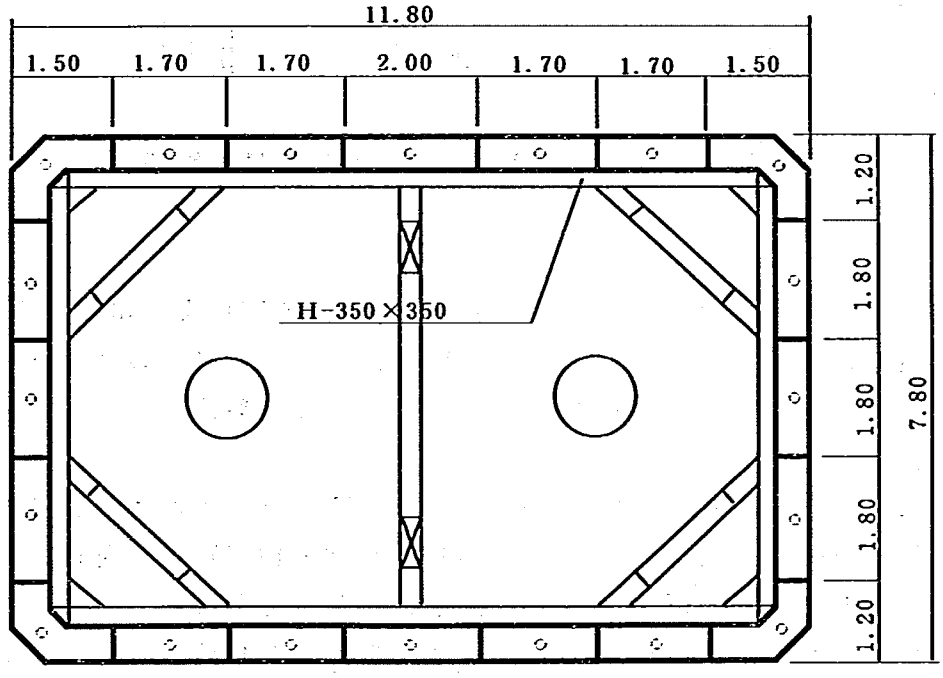
3)施工フロー

図－４．２．７に施工フローを示す。

本、工事の施工は以下のフローにより実施された。



図－４．２．７　施工フロー



図－４．２．８　止水壁ブロック割図

4)施工方法

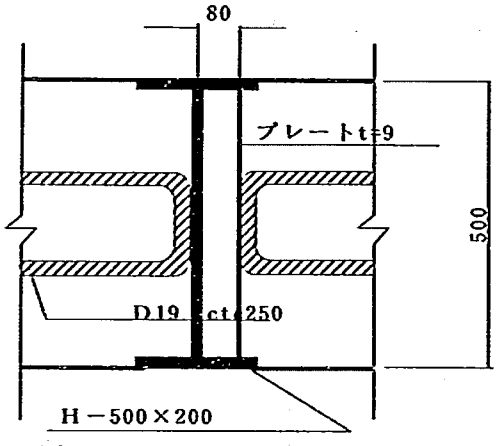
止水壁の構造は、撤去作業時のブロック化および再転用を図るため、止水壁構築時に予め縦目地（図－４．２．９）および横目地を設けたもので、高さ９ｍを２ロットに分割して施工を行った。

止水壁の分割数は、図－４．２．８に示すように平面で２０ブロックで、上下では４０ブロックとなり１ブロックの平均重量は１１ｔである。

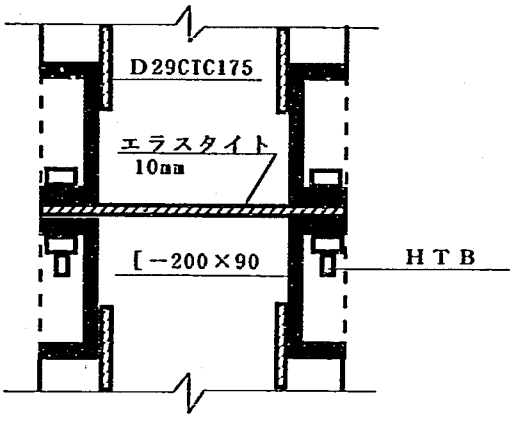
止水壁に作用する周面摩擦力による引張力に対しては、図－４．２．８に示すように各ブロックごとにＰＣ鋼棒を配置し対応した、また一括引上に対しては図に示すように止水壁下部に定着部を設け、ＰＣ鋼より線により引き上げる方式とした。

①ＰＣ鋼棒の配置

鋼棒本数は、止水壁に作用する周面摩擦力度を１．７tf/m²、アスファルトと止水壁底部の付着力を１０tf/m²として算定した。



図－４．２．９ 縦目地詳細図



図－４．２．１０ 横目地詳細図

②縦目地の施工

縦目地は止水壁壁厚に合わせＨ型鋼（H－500×200×16）を使用し、ウェブから８０㎜の間隔で縦方向に９㎜プレートを溶接し、解体時にはこの間隔内でフランジ部をガス切断し分割できる構造とした（図－４．２．９参照）。

③横目地の施工

横目地は図－４．２．１０に示すように、止水壁第１ロットおよび第２ロット構築時に、それぞれ上下部に溝型鋼（［－200×90×8×13.5）を取付け、これに止水用エラスタイトを設置しボルトにより締結したものである。

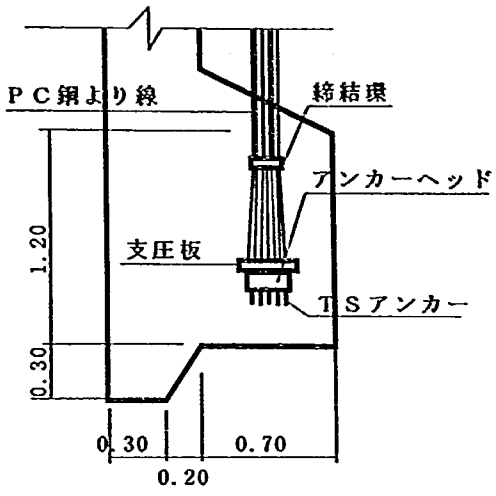
これにより、止水壁解体時の上下の分割はボルトの取り外しにより容易に行うことができる。

④引上げ用ＰＣ鋼より線の配置

ＰＣ鋼より線は図－４．２．１２に示すように止水壁内側に８ヶ所設けた。その定着方法は図－４．２．１１に示す

一括引上げ時 の全体荷重は２，４３２ｔに対し８セットで分担するとＰＣ鋼より線１セット当たり３０４ｔとなるため、

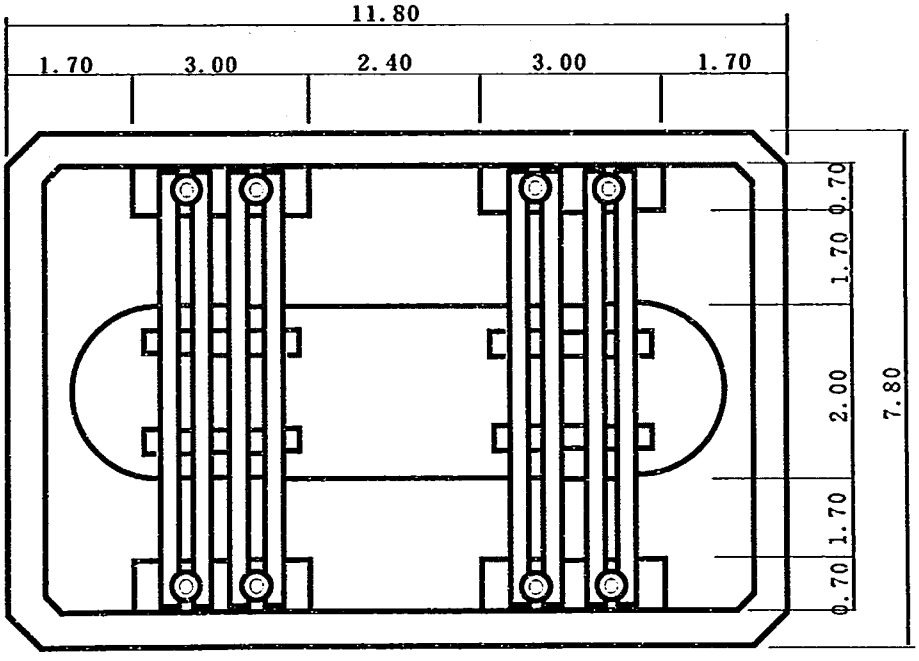
φ１２．４㎜のより線を２９本を１セットとして使用した。



図－４．２．１１ ＰＣ鋼より線定着部

⑤引上げおよび撤去

引上げはＶＳＬセンターホールジャキ８台（４００ｔジャッキ）によって行われたが、引上げ時の荷重は設計荷重の８０％程度であった。



図－４．２．１２ 引上げ用反力桁配置図

5)所要工程（撤去）

２ロット分

反力桁取付および引上装置取付	2
捨て梁取付	1
支保工撤去	1
引上げ撤去	2
資機材撤去	1
	7日

6)安全管理のポイント

支保工解体前には、止水壁に作用する外圧に十分耐える捨て梁を取付け、内部に注水してから引上げる。

また、各ブロック解体時は反力桁に偏荷重が作用することがあるため、反力桁およびジャツキ類の転倒防止措置を実施する。

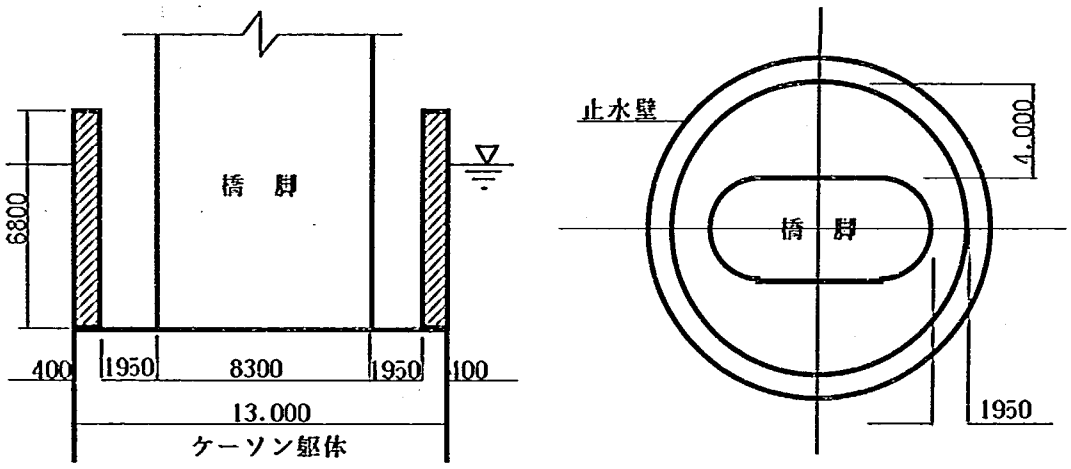
ブロックはかなりの重量となるため、吊上げ用クレーンは吊上げ能力に余裕を持ったクレーンを選定すると共に、据付位置の安定性にも十分配慮する。

4．2．3 事例８：制御発破

1)概要

渇水期施工となる橋梁基礎工事であり、冬季間の河川内水位は低いが上流にダムが無い河川で、例年、春先にはかなりの水位上昇が見られるため、堅固な止水壁構造としてＲＣ躯体が採用された。

また撤去方法は、最も早く経済的な方法としてＰＣ鋼棒による止水壁の縦締めと、発破振動による橋脚躯体に影響のない制御発破工法が採用された。



図－４．２．１３　止水壁構造図

2)止水壁構造概要

止水壁は、円形形状φ１３．００高さ６．８ｍ・壁厚４０cmのＲＣ構造で、撤去を容易にするため、止水壁内の鉄筋はケーソン躯体との接続は行わずＰＣ鋼棒により定着する構造とした。また、制御発破を行う際の装薬孔は止水壁構築時に上部より塩ビ管により箱抜きし、沈下完了後、ただちに発破作業がでできるようにした。

3)制御発破工法

①橋脚の限界振動値

止水壁コンクリートの圧縮強度を２１０kg／cm²、その引張強度を２１kg／cm²、コンクートの比重　ρ＝２．５g／cm³、弾性波速度を２５００m／secとして次式よって限界振動値を求めた。

$\sigma = \rho \cdot c \cdot V$

σ：コンクリート内に生じる応力（kgf／cm²）

ρ：比重（g／cm³）

V：振動速度（m／sec）

$$V = \frac{\sigma}{\rho \cdot c}$$

②爆芯から橋脚までの距離(D)に対する薬量

以下に示す発破振動式により装薬薬量を求めた。

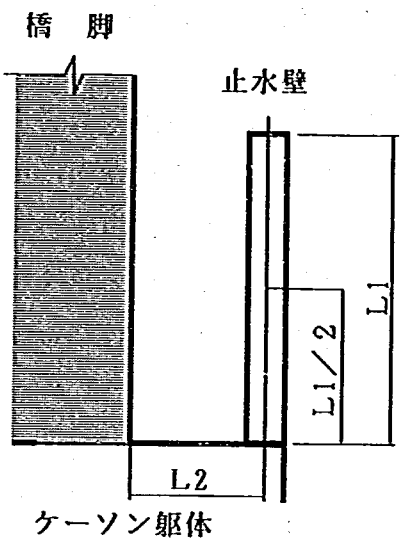
$$V = K \cdot L^{2/3} \cdot D^{-2}$$

V：振動速度（㎝／sec）

K：常数

L：薬量（kg）

D：爆芯からの距離（m）



図－４．２．１４　爆芯から橋脚までの距離

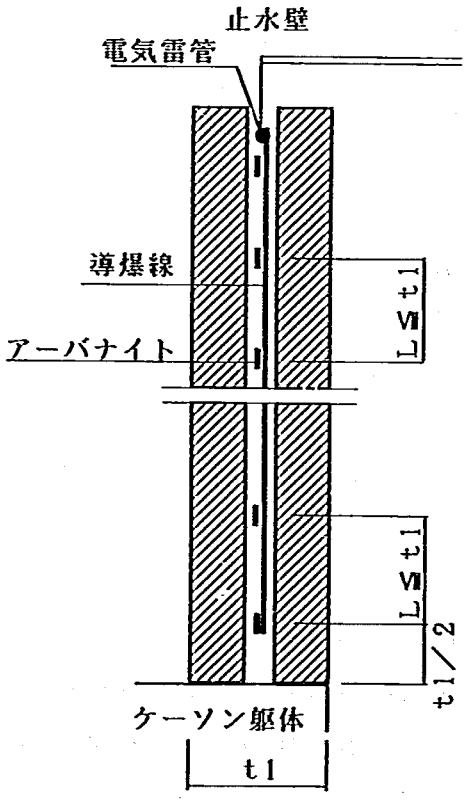
この式において爆芯からの距離Dは、図－４．２．１４に示すように、

D＝L1／２＋L2

として薬量を決定した。

使用する爆薬は低爆速火薬であるアーバナイト（爆速１５００～２０００㎝/sec）を使用し、止水壁躯体に予めセツトされた装薬孔とのデカツプリング効果を利用した制御発破を行った。

この施工における破砕は、図－４．２．１５に示すようにアーバナイトを導爆線に結着させた発破方式とし、一ヶ所当り５０ｇのアーバナイトを一孔に１５段分散配置した。



図－４．２．１５　装薬図

4)破砕結果

止水壁は底部から完全に破砕され、橋脚への影響は全く認められなかった。

5)安全管理のポイント

火薬類関連法規に沿った管理を実施することは勿論であるが、計画時点では止水壁内への湛水状態による水中での衝撃圧、あるいは使用する爆薬の爆速、破砕環境条件等に十分配慮し、条件に応じた計画をする必要がある。

また、破砕物の飛散に対する飛散防止措置および橋脚防護は必ず実施する。

4．2．4　事例９：分割引上げ後破砕

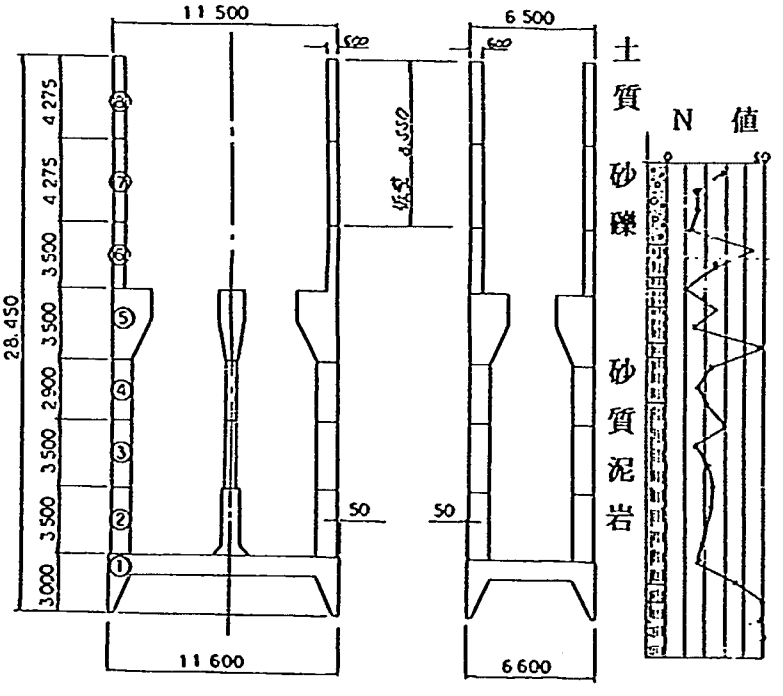
1)　概要

河川中央部に鋼矢板築島方式で橋梁基礎となるニューマチックケーソンを沈設した。平面寸法は、短辺６．５ｍ、長辺が１１．５ｍである。

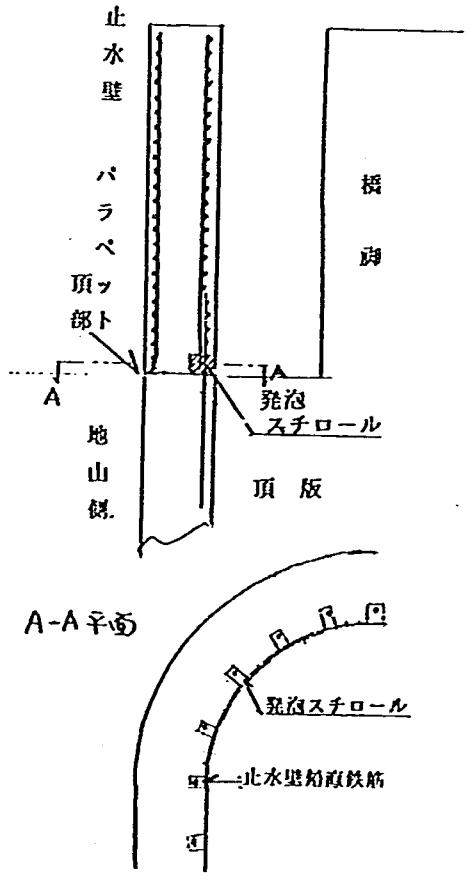
計画河床高さと河川流水面高さ間の距離が大きく、頂版施工に必要な止水壁は高さ８．５５ｍ、壁厚０．６０ｍの鉄筋コンクリートで設計されていた。この止水壁を高さ方向に２リフトに分割して現場打ちコクリートで構築した。上下２リフトの止水壁を異なる方法で撤去した。上方のリフトはバックホウに装着したコンクリート破砕機で取り壊し、下方のリフトは止水壁に予め埋設したねじふし鉄筋をセンターホールジャッキ（能力１２０ｔｆ）４台に接続してそれを吊り上げ、再びそれをコンクリート破砕機で取り壊すことで撤去した。前者で３日を要し、後者で４日を要した。図－４．２．１６にロット割付を示す。

2)止水壁構造概要

図－４．２．１７に止水壁下端の処置要領を示す。止水壁鉛直鉄筋は下端に発泡スチロールを配置して橋脚側からの切断が容易に行えるようにした。また、止水壁内に埋設した送気管、ブローパイプや中埋めコンクリート圧送パイプも同様の処置をした。

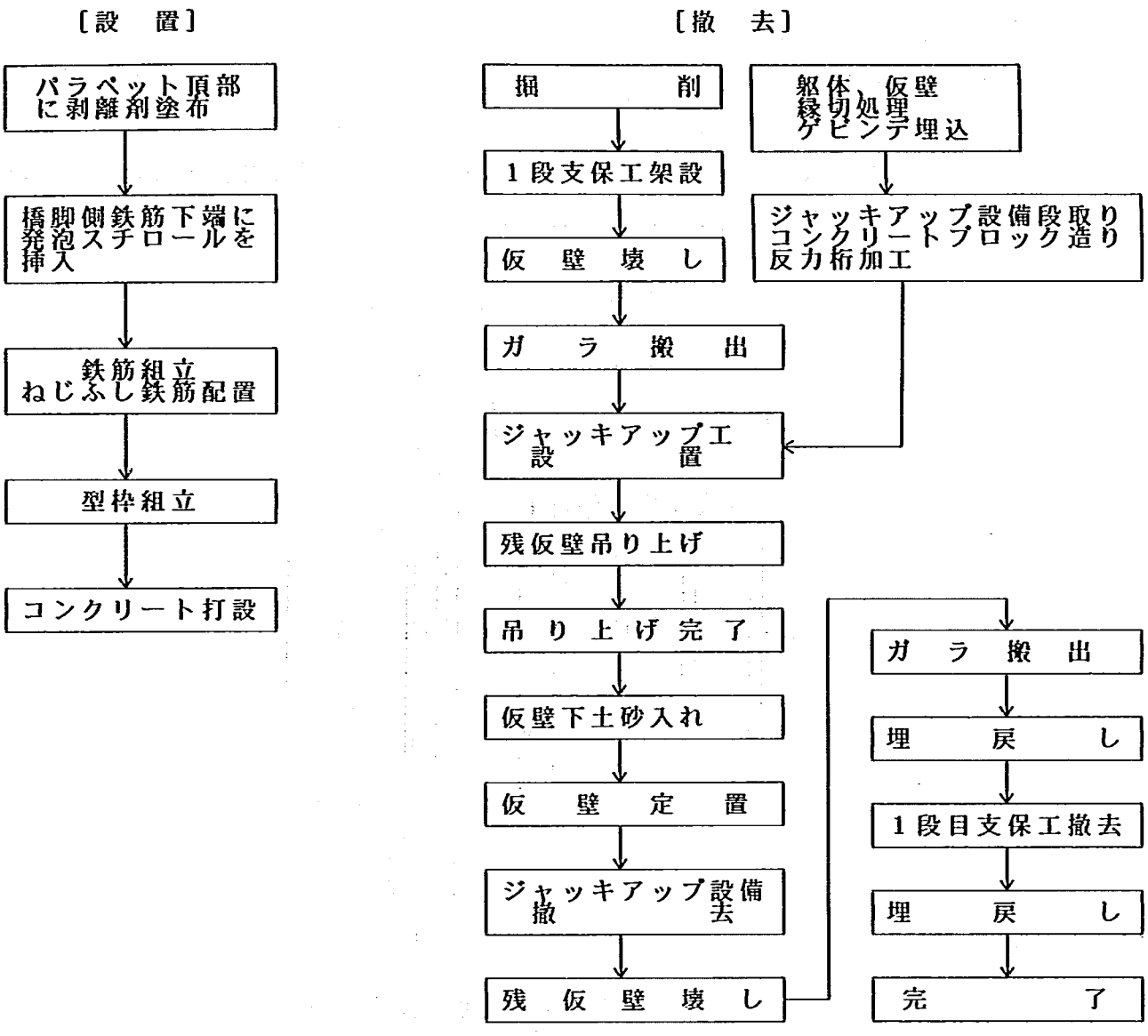


図－４．２．１６　ロット割付図



図－４．２．１７　止水壁下端処置要領図

3) 施工フロー

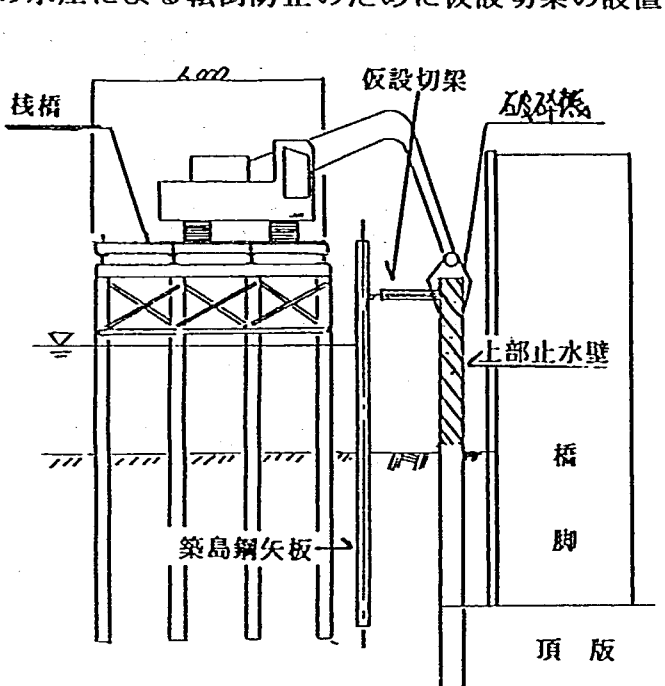


図－4．2．18　施工フロー

4) 施工方法

［設置］：図－４．２．１７参照。

［撤去］：上部止水壁撤去要領を図－４．２．１９に示す。桟橋上に設置したバックホウ先端にコンクリート破砕機を装着して止水壁を破砕した。築島鋼矢板と止水壁の間はコンクリートガラを溜めるため予め掘削した。築島鋼矢板の水圧による転倒防止のために仮設切梁の設置と盛替をした。



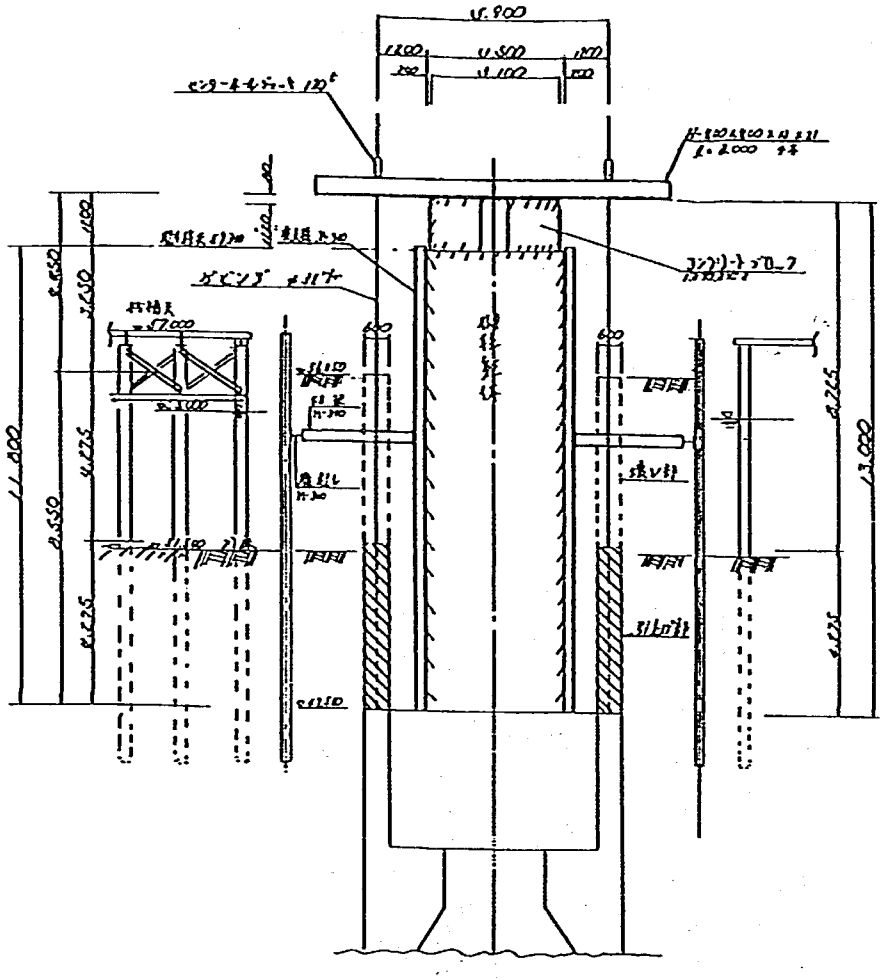
図－４．２．１９　上部止水壁撤去要領

下部止水壁撤去要領を図－４．２．２０の断面図に示す。橋脚は未完成で張り出し部がない状態であり、その頂部を反力受けとして下部止水壁を一括引き上げた。橋脚頂部に突き出た鉛直鉄筋を橋脚中央部に設置したコンクリートブロックの受け台で避けることで載荷桁の設置を可能にした。載荷桁の上にセンターホールジャッキを置き、それと下部止水壁に予め埋設しておいた「ねじふし鉄筋」と接続することで一括引上げの準備とした。施工方針検討結果の要約を以下に示す。

止水壁の一括引き上げ荷重：重量と止水壁を取り巻くコンクリートガラによる周面摩擦力を合計して ２７４ｔｆと評価した。

４点引き上げで１点当たり

の引き上げ荷重	： 274tf/4＝68.5tf
コンクリートブロック寸法	：平面寸法 1.2× 1.2m、高さ 1.2m、４個製作
ねじふし鉄筋	：D32×15m、カプラー８個使用。
ジャッキ能力	：最大120tf まで載荷可能。４台設置。
載荷桁	：H型鋼（H-400×400）を２列並べて２台のジャッキ載荷を分担した。合計４本設置。長さ８m。



図－４．２．２０　下部止水壁撤去要領

図－４．２．２１は各装置の平面配置位置を示したものである。黒丸は橋脚から突き出た鉛直鉄筋を示している。

載荷桁は次の設計結果を用いた。

H型鋼(H-４００×４００)を２列剛結して同一ひずみが発生するものと仮定すると

曲げ応力度　＝1440kgf/cm²＜2100kgf/cm²

せん断応力度＝736kgf/cm²＜1200kgf/cm²

たわみ量　　＝0.224

スパン比 1/625＜1/300（許容値）

載荷桁の加工は現場における電気溶接としたがH型鋼のフランジの曲げ変形およびウェブの座屈防止にスティフナーを合計48枚用いた。

[施工結果]：設計荷重以内で施工可能であった。

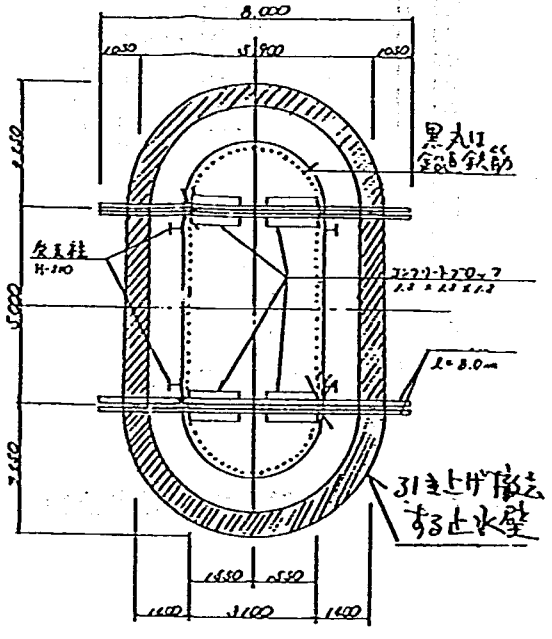
[所要日数]：上部止水壁構築：　11日

下部止水壁構築：9.5日

上部止水壁撤去：　４日

下部止水壁撤去：7.5日

なお、載荷桁の加工は上部止水壁撤去期間に実施した。



図－４．２．２１　止水壁引き上げ装置の配置

5)安全管理のポイント

使用材料の特質把握：止水壁撤去の準備に際して「ねじふし鉄筋」の周辺ではガス溶断作業がある。それに熱が万一直接加わると材料の強度減少を誘発するので、加熱を避ける管理を要求した。

設計条件の認識とそれを遵守した施工：止水壁地山側の鉛直鉄筋は束ね配筋や一ランク太い鉄筋で配置間隔を粗くして切断を容易にする。上部止水壁撤去に際しては、取壊しを中断して堆積したコンクリートガラを搬出するよりは、連続して取壊しをする方が工程が短くなるので、取り壊した後のコンクリートガラを収納するスペース確保として止水壁と橋脚間の掘削が深くなりがちである。これを考慮した築島鋼矢板の安定照査をするために堆積するコンクリートガラの間隙率評価を適切に行わなければならない。築島鋼矢板の安定を確保するための切梁に破砕機が接触しないよう慎重な誘導をしなければならない。万一１本の切梁に破砕機が接触してそれが脱落しても耐荷力が確保できるよう複数の切梁を設けるのも一方法である。

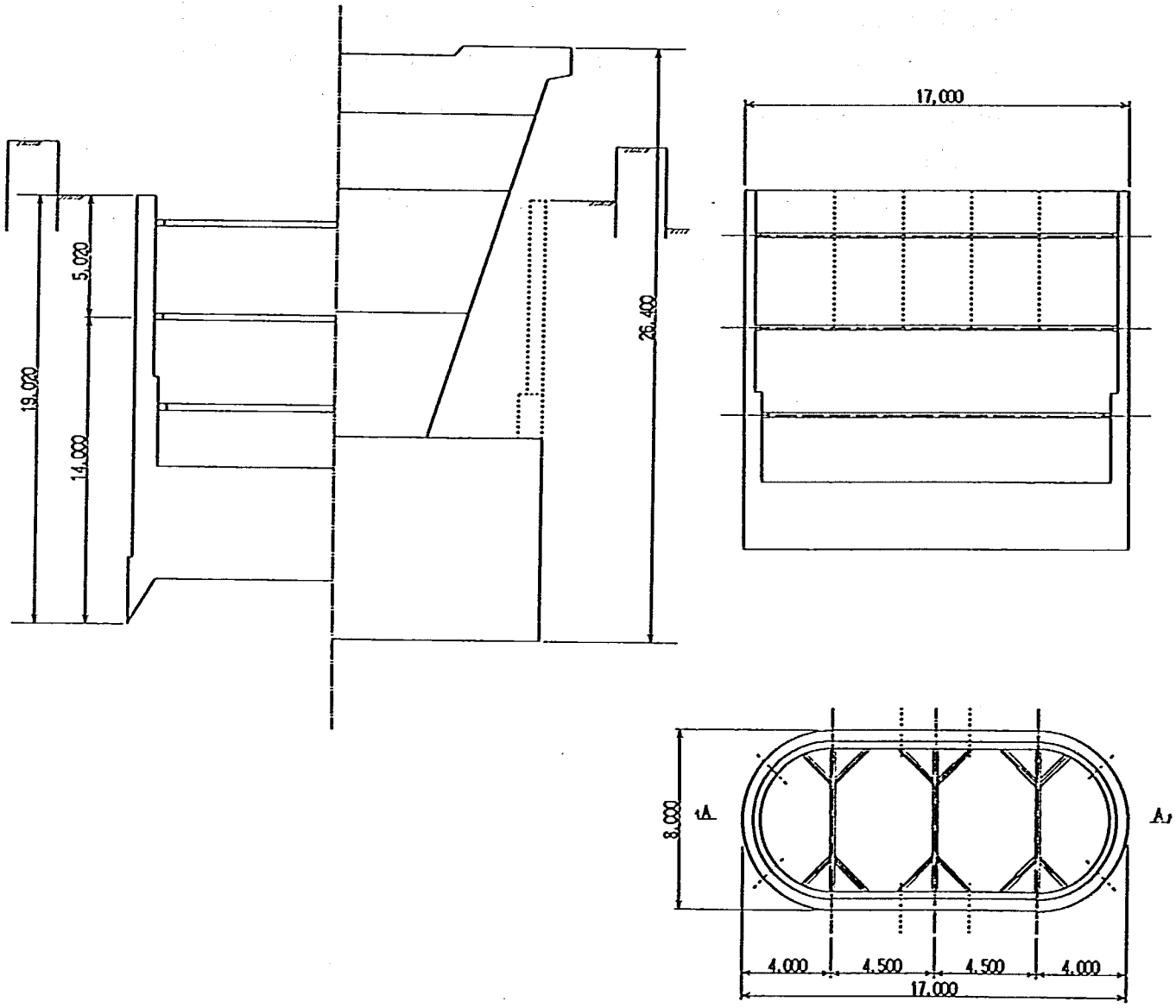
載荷桁に手摺を設置：センターホールジャッキの盛り替え作業などを載荷桁の上で行うので作業員通行が頻繁になるため手摺を設ける。

4．2．5 事例10：分割引上げ後破砕

1)概要

一級河川中央部において、ニューマチックケーソンで施工した橋梁基礎の例である。形状は小判形で８．０ｍ×１７．０ｍ、深度は１９．０２ｍである。橋脚躯体構築が増水期になることを避けるため、全体に工期短縮が求められた。

止水壁については、地下水位が高い位置での撤去作業となるため、迅速に施工できる方法として、発泡スチロール目地を用いた分割撤去が採用された。止水壁の構造を図－４．２．２２に示す。



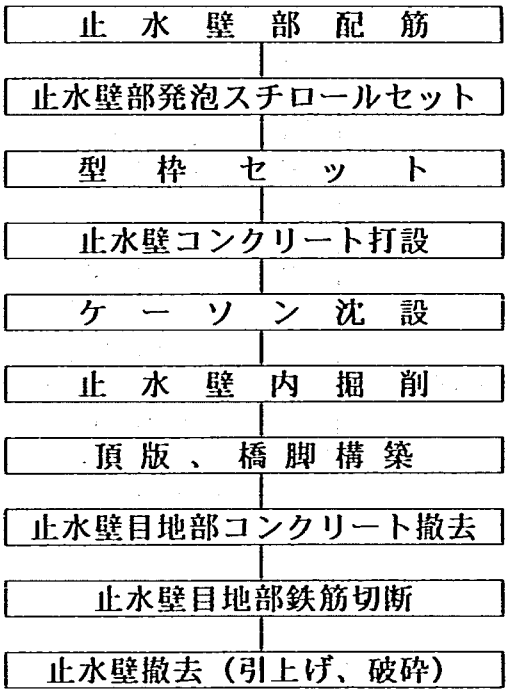
図－４．２．２２　止水壁一般図

2)止水壁構造

止水壁は小判形形状(８．０ｍ×１７．０ｍ)、高さ８．０２ｍ、壁厚０．５ｍのＲＣ構造である。内外の縦方向鉄筋の間に発泡スチロールを埋込み、これを目地とした。

3)施工フロー

図－４．２．２３に施工フローを示す。

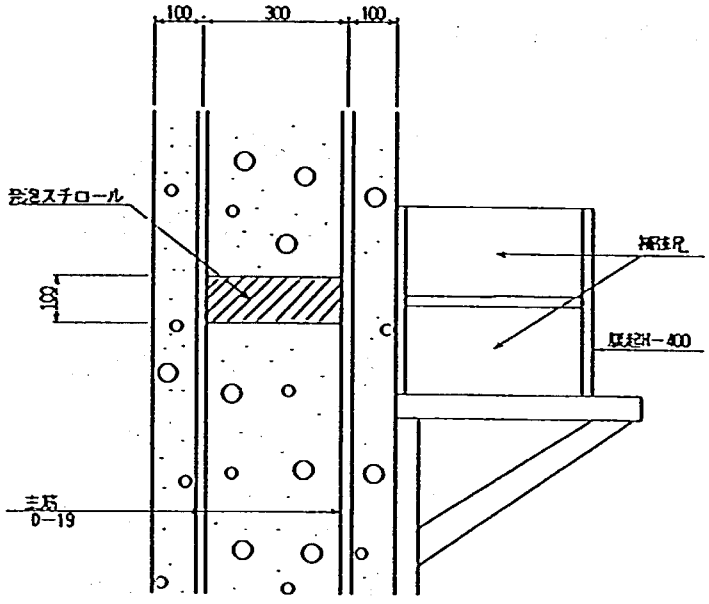


図－４．２．２３　施工フロー

4)施工方法

①目地を用いた分割撤去方法

目地を用いた方法とは、図－４．２．２４のように、内外の鉛直方向鉄筋の間に発泡スチロールを埋め込み、これを横目地として止水壁を分割するための縁切りとするものである。



図－４．２．２４　止水壁詳細図

②目地の位置

横目地は、*GL.*－５．０ｍの位置に水平に設ける。

縦目地は、躯体天端から横目地の高さまで、全体で１２ヶ所設ける。

③撤去方法

ケーソン沈設完了後、内側より目地に沿ってコンクリートを破砕する。

鉄筋切断の後、ブロックごとに引き上げ、地上で破砕する。

5)本工法の利点

①鉄筋を確実に切断でき、止水壁の分割が可能である。

②分割したブロック単位で引き上げるため、次工程がコンクリートは際を待たずに実施できる。

③地上でコンクリートを破砕するので、破砕作業が安全かつ確実である。

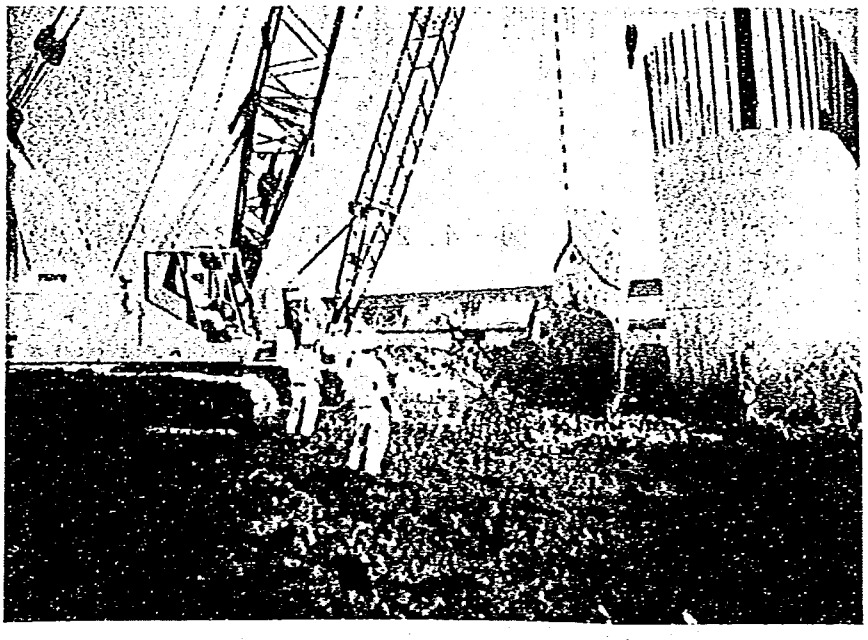
④ワイヤーソー等と比較して安価である。



写真－４．２．１　止水壁継手部鉄筋
（切断状況）



写真－４．２．２　止水壁継手部
（コンクリート除去状況）



写真－４．２．３　止水壁引上げ
（クローラクレーン50tf吊り２台）

4．2．6　事例11：発破とブレーカー破砕

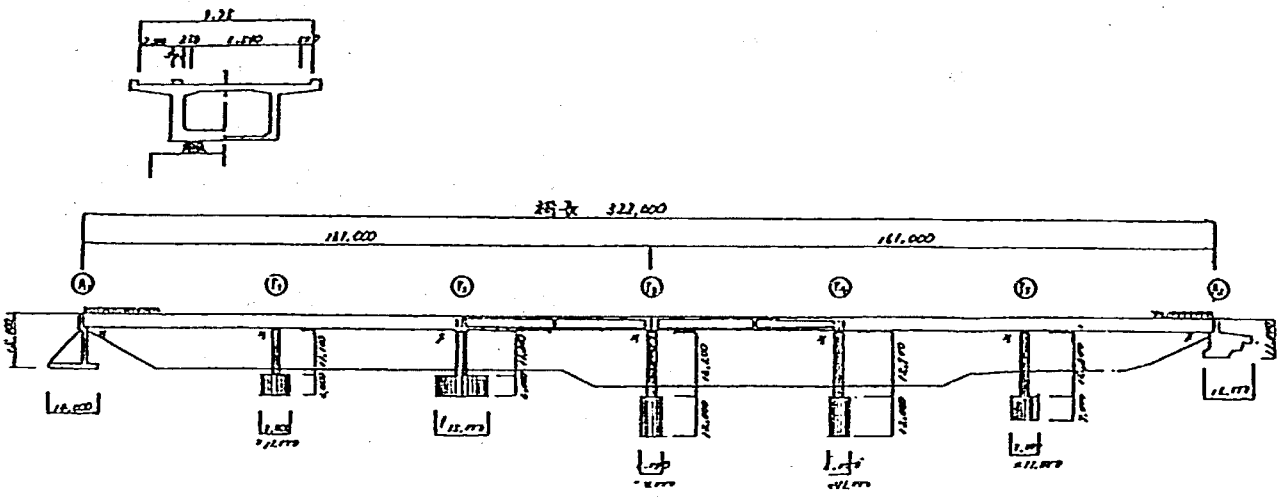
1)概要

老朽化した橋梁の架替で旧橋の上流に新橋を施工した。5基の橋脚は、高水敷部のP1とP2をオープンケーソンで施工し、低水路部のＰ３、Ｐ４、Ｐ５をニューマチックケーソンで施工した。これらの施工は桟橋と鋼矢板築島方式で行い、現場打ちＲＣ止水壁を用いた。

橋長　３２２ｍ

橋台　　２基

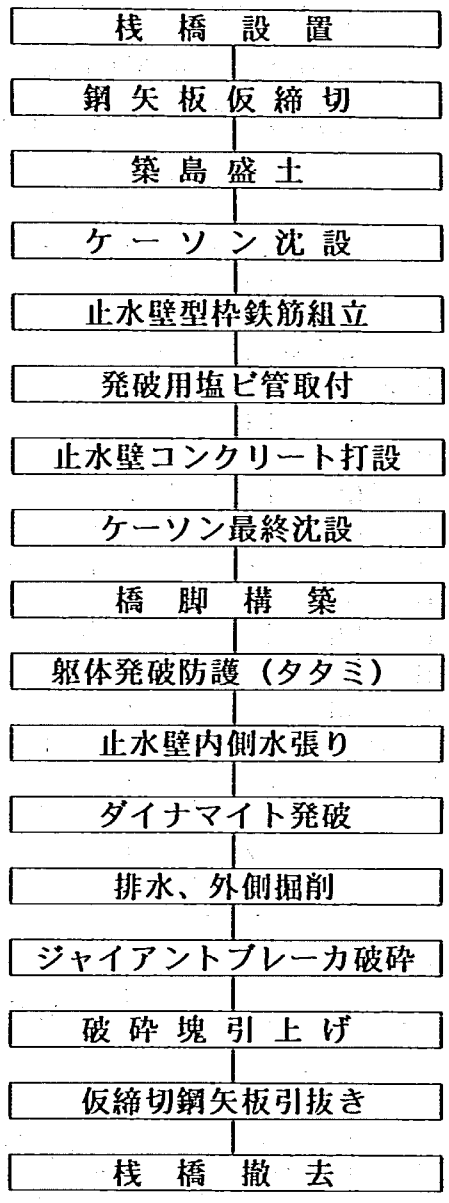
橋脚　　５基(オープンケーソン２基、ニューマチックケーソン３基)



図－４．２．２５　橋梁全体図

2)施工フロー

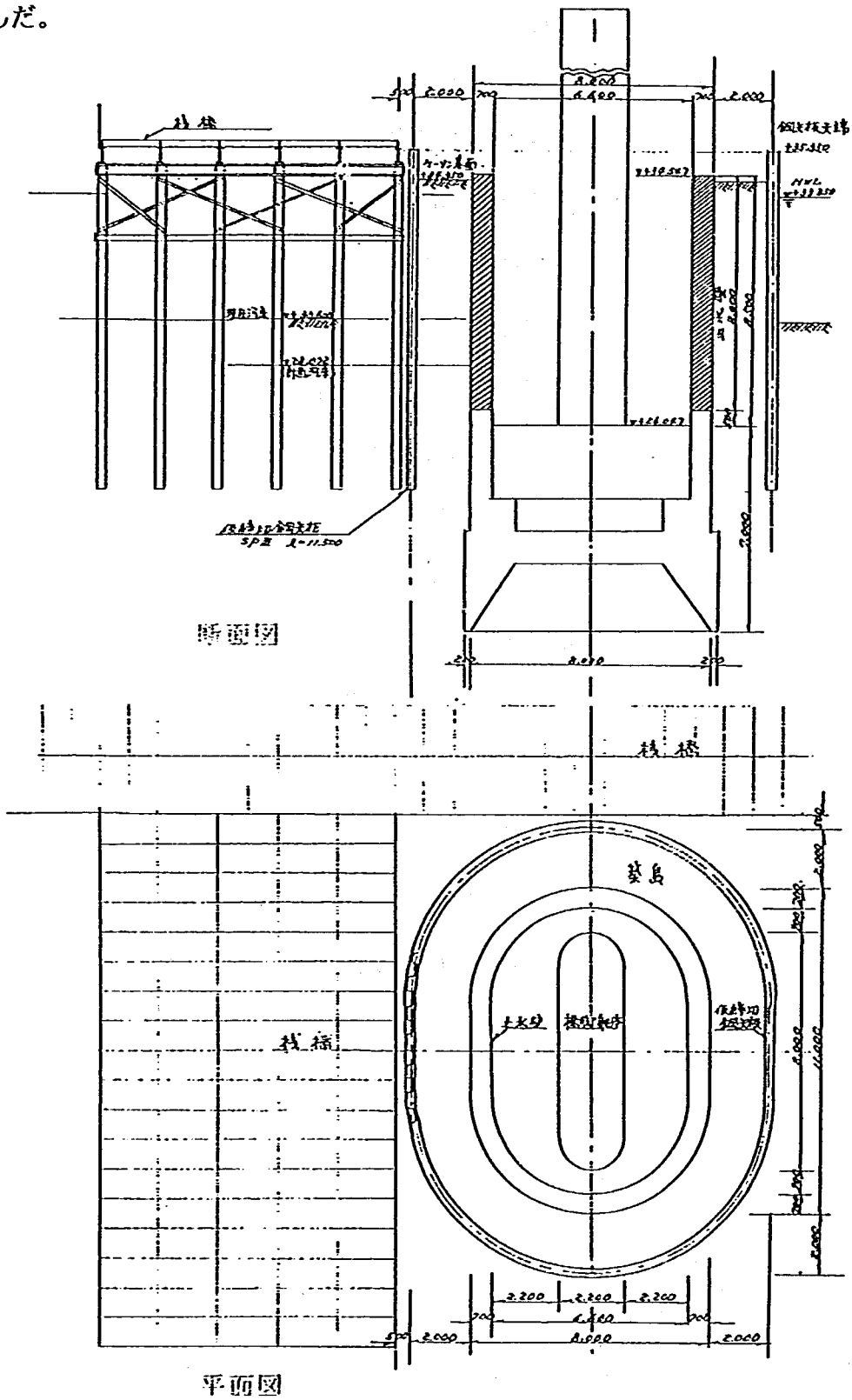
図－４．２．２６に施工フローを示す。



図－４．２．２６　施工フロー

3)止水壁構造概要

止水壁は小判形形状(8.0m(P3,P4は6.0m)×11.0m)、高さ8.5m(撤去は8.0m)、壁厚0.7mのRC構造である(図－4.2.27)。取り壊し部の縦方向鉄筋は残置壁体に定着しない箇所で重ね継手を設ける構造とした。また、止水壁コンクリート打設時に発破孔用の塩化ビニル管(VP50)を50cm間隔で埋め込んだ。

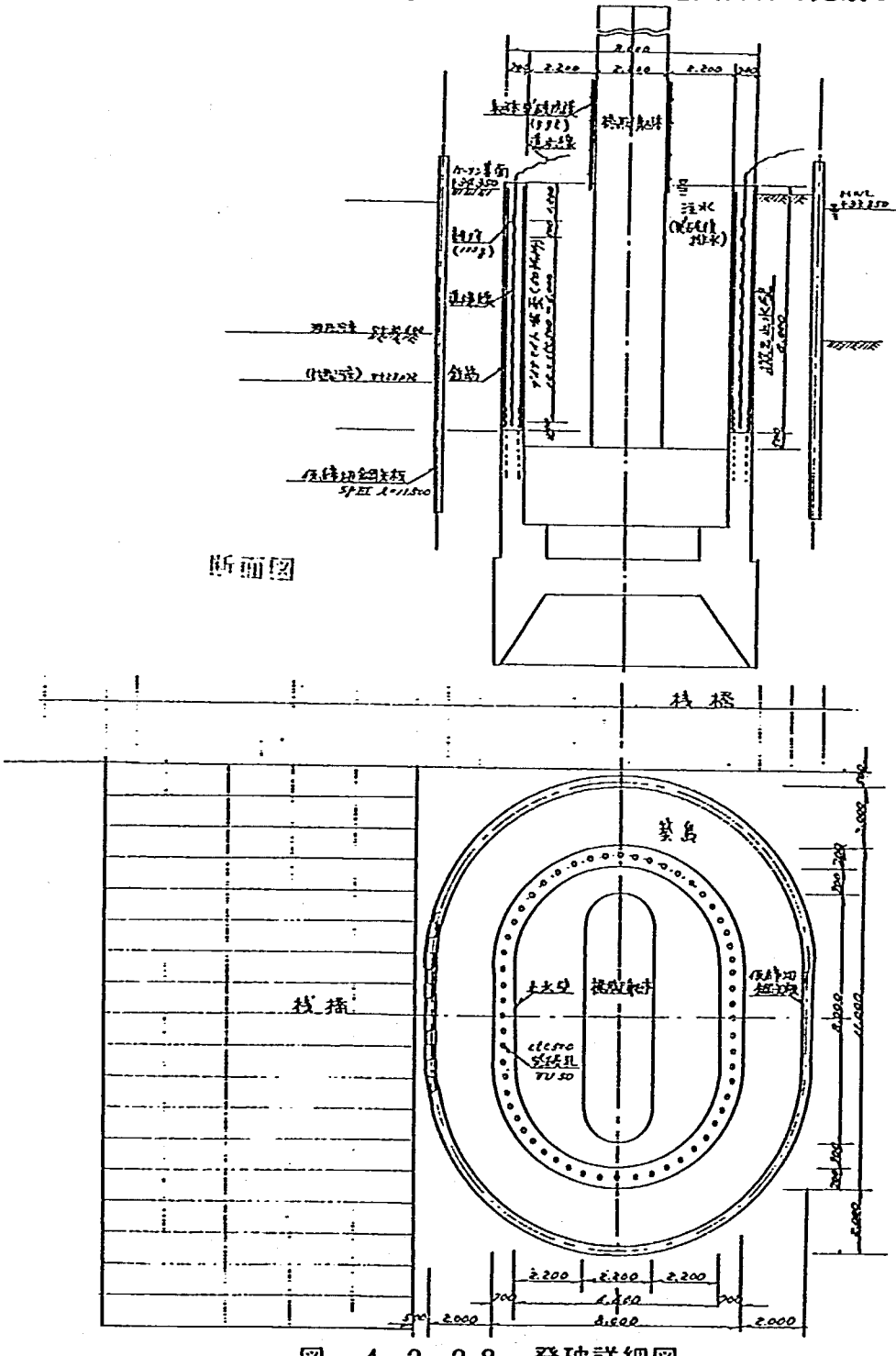


図－4.2.27　止水壁一般図

4)撤去方法

撤去は単純小割破砕とした。取壊しを容易にするため、主破砕にはダイナマイト発破を利用し、その後、ジャイアントブレーカ、油圧破砕機で小割り、クラムシェルにより破砕ガラおよび築島土砂を排出した。仮締切鋼矢板からの浸透水をポンプ排水しながら鉄筋を切断し、計画河床以浅の止水壁（高さ８．５ｍの内８．０ｍ）を完全に撤去し搬出した。（図－４．２．２８）

ダイナマイトは、各発破孔に導爆線を使用し、50cm間隔に新桐ダイナマイト半切（５０ｇ）を、親ダイには１００ｇを装薬して、瞬発電気雷管で発破した。



図－４．２．２８　発破詳細図

5)撤去所要工程

Ｐ５　止水壁コンクリート撤去数量　１６２㎥

発破防護（タタミ）および内部注水水張り	１日
ダイナマイト発破および排水	１日
ジャイアントブレーカ、油圧破砕機による小割	10日
（鉄筋切断、排水、コンクリートガラ、築島土砂排出）	
合　　計	12日

6)主要機械

クローラクレーン（クラムシェル併用）	40t	１台
ジャイアントブレーカー、油圧破砕機	0.6㎥	１台
ダンプトラック	10t	１台
排水ポンプ	150mm	４台

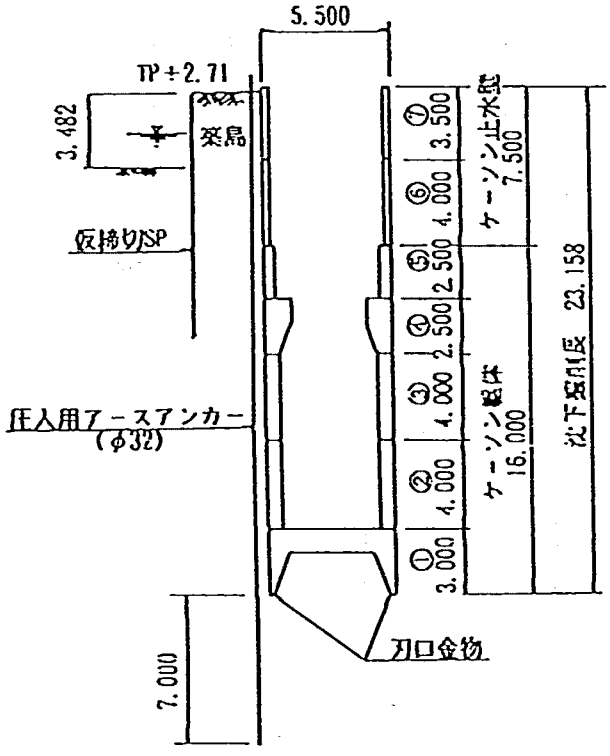
4．2．7　事例12：ブレーカー破砕

1)概要

ニューマチックケーソン工法で施工された鉄道営業線に近接する橋梁基礎工事である。止水壁の撤去方法には、最も安全で工期短縮を考慮した工法であるとともに、圧入荷重に対応できる工法が要求され、油圧ブレーカによるはつり工法が選定された。

ケーソン躯体は、第１ロット作業室（ｈ＝３．０ｍ）、第２、３ロット（ｈ＝４．０ｍ）、第４、第５ロット（ｈ＝２．５ｍ）の５分割である。仮設ケーソン止水壁は、ケーソンを所定の深さまで沈設するために設置し、第６ロット（ｈ＝４．０ｍ）、第７ロット（ｈ＝３．５ｍ）の２分割とした。（図－４．２．２９）

平面形状は円形（外径φ５．５ｍ、高さ２３．５ｍ）である。

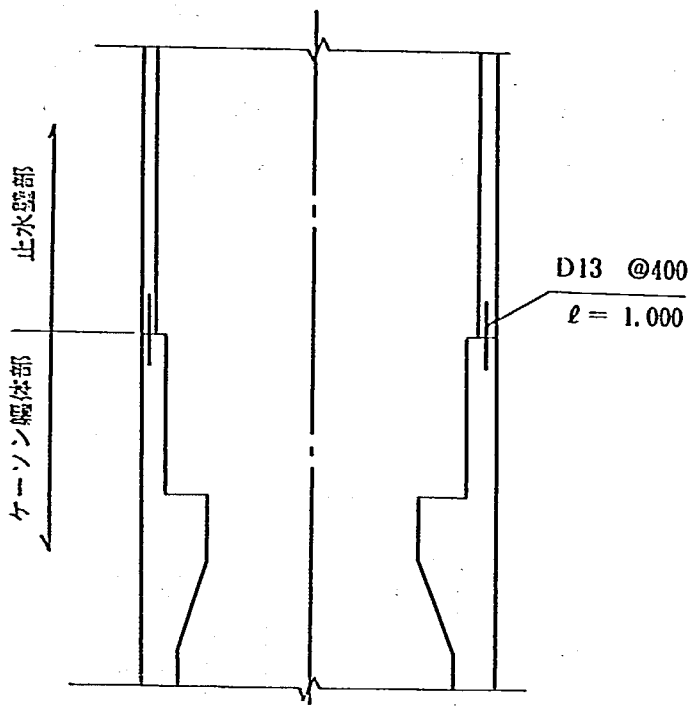


図－４．２．２９　止水壁一般図

2)止水壁構造概要

止水壁は、円形（外径φ５．５m、高さ７．５m、壁厚０．２５m）のＲＣ構造で、深度方向は２ロット（４．０m＋３．５m）に分割されている。止水壁と本体ケーソン壁の継手部分は図－４．２．３０に示す通り、異型棒鋼（*D*13, L＝１．０m, c.t.c. ３００）で接続した。

コンクリートの設計基準強度は２４０kg/cm²で、配筋は*D*13, c.t.c. ３００の単鉄筋である。



図－４．２．３０　接合部

3)工程

止水壁構築　（１ロット当り）

内足場、内型枠	1.0日
鉄筋組立、外型枠	1.0日
コンクリート打設	1.0日
養生型枠脱型	1.0日
合　計	4.0日

止水壁撤去　（２ロット当り）

掘削	11.0日
（土留支保工	9.0日）
（はつり工	7.0日）
合　計	11.0日

4)施工方法

止水壁の撤去に使用した機械は、油圧ブレーカ(１８０kg、０.１９㎥バックホウ装備)、およびサイレントクラッシャー(１２０ｔ)である。施工における構成人員は、一般的なコンクリート取壊しと同様である。

桟橋上から油圧ブレーカにて止水壁を解体し、築島部の埋土とともに搬出した後、腹起しおよび火打ちを設置した。この手順を順次繰り返し、止水壁を完全に撤去した。

5)安全管理のポイント

鉄道営業線との近接工事でもあり、所定有資格者を配置するとともに、作業手順を遵守し、安全管理には特に配慮した。

4．2．8　事例13：ブレーカー破砕

1)概要

ニューマチックケーソン工法で施工された鉄道営業線に近接する橋梁基礎工事である。止水壁については、最も安全で工期短縮を配慮した工法であるとともに、圧入荷重に対応できる工法が求められたため、止水壁部はＲＣ構造とし、撤去には油圧ブレーカによるはつり工法を採用した。

ケーソン規模　円形　外径φ４．０m、深度２３．０m

2)止水壁構造概要

止水壁は、円形（外径φ４．０m、高さ７．０m、壁厚０．２５m）のＲＣ構造で、深度方向は２ロット（２×３．５m）に分割されている。止水壁と本体ケーソン壁の継手部分は図－４．２．２５に示す通り、異型棒鋼（*D*13, L＝１．０m, ctc. ３００）で接続した。

コンクリートの設計基準強度は210kg/cm²で、配筋は*D*13, ctc. ３００の単鉄筋である。

3)工程

止水壁構築　（１ロット当り）

内足場、内型枠	1.5日
鉄筋組立、外型枠	1.0日
コンクリート打設	1.5日
養生型枠脱型	1.0日
合　計	5.0日

止水壁撤去　（２ロット当り）

掘削	4.0日	
（土留支保工	4.0日）	（掘削と同時施工）
はつり工	8.0日	
合　計	12.0日	

4)施工方法

止水壁の撤去に使用した機械は、油圧ブレーカ(１２０kg、０.１９㎥バックホウ装備)、およびサイレントクラッシャー(１２０ｔ)である。施工における構成人員は、一般的なコンクリート取壊しと同様である。

油圧ブレーカにて止水壁を解体し、掘削土とともに搬出した後、腹起しおよび火打ちを設置し、止水壁を完全に撤去した。

5)安全管理のポイント

鉄道営業線との近接工事でもあり、所定有資格者を配置するとともに、作業手順を遵守し、安全管理には特に配慮した。

4．2．9　事例14：分割パネルの逐次引上げ

1)概要

ニューマチックケーソン工法で施工された、道路橋の下部構造新設工事である。止水壁の撤去については、近接河川の水質に影響を及ぼさず、河床からの完全撤去が可能な工法であるとともに、渇水期内に撤去できる急速な施工法が求められ、分割した止水壁パネルを1ピースごとに引き上げる工法が採用された。

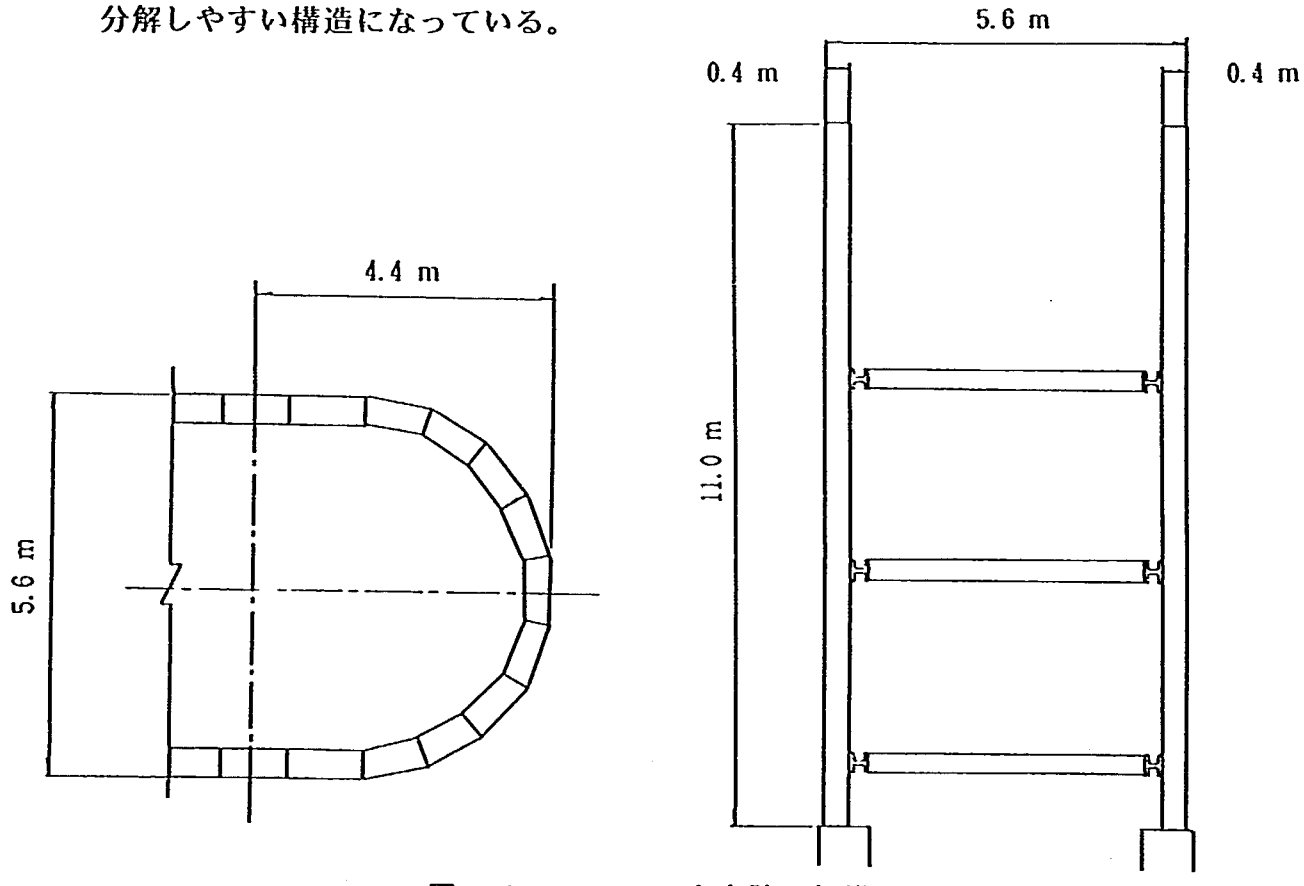
ケーソン規模　小判形　5．6×8．8m

2)止水壁構造概要

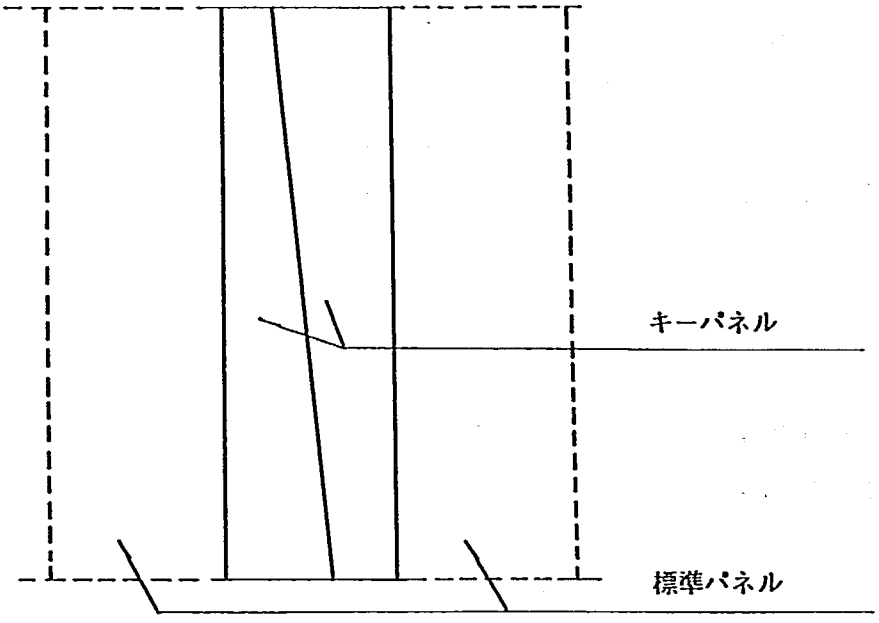
止水壁は、小判形（5．6×8．8m、深度１１．０m、壁厚0．4m）のＲＣ構造で、引き上げを効率的に行うために分割パネル方式とした。（図－4．2．３１）

止水壁のパネル割りは、幅１．１mを標準とし、全周に対し２パネル以上、図－4．2．３２に示すような形状のキーパネルを設けて引抜き時の摩擦を低減するとともに、減摩剤を塗布し沈下時の摩擦低減を図る。止水壁は構造上、外側から内側へ作用する荷重には抵抗するが、内側から外側への荷重に対しては抵抗できないため、部分的に止水壁上部を鋼製ロープ等で補強している。

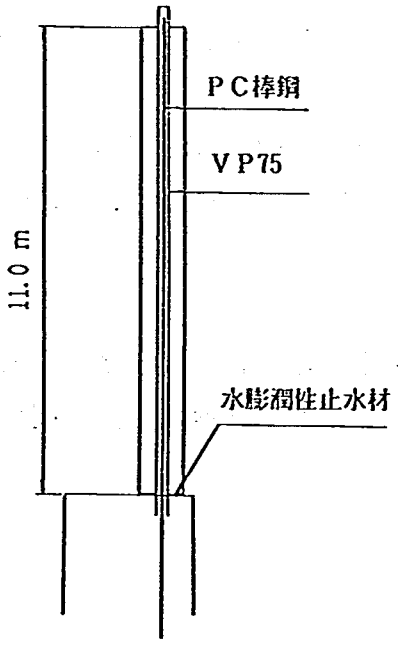
止水壁とケーソン本体は図－４．２．３３のように、ＰＣ鋼棒により接合している。また、止水壁間の接合部の構造は、図－４．２．３４に示すように、防水性を保持し分解しやすい構造になっている。



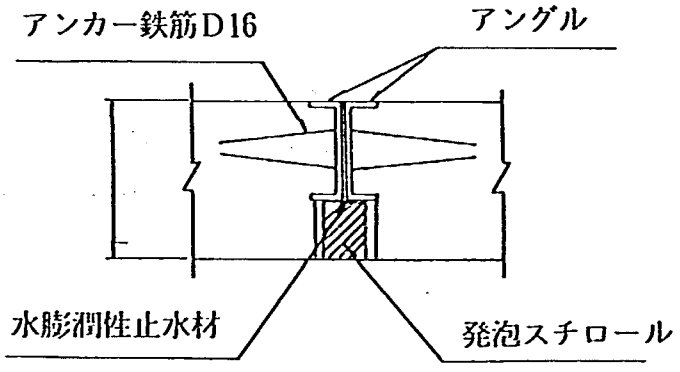
図－４．２．３１　止水壁一般構造図



図－４．２．３２　キーパネル



図－４．２．３３　止水壁と本体の接合



図－４．２．３４　止水壁間の接合

3)工程

止水壁構築　（1ヶ所当り）

製作台作成	7.0日
型枠、鉄筋、コンクリート	20.0日
内部支保工組立	7.0日
止水壁組立	7.0日
合　計	41.0日

止水壁撤去　（1ヶ所当り）

埋戻し	4.0日
支保工撤去	3.0日
引上げ撤去	3.0日
解体	3.0日
合　計	13.0日

4)施工方法

止水壁の撤去は、ケーソンの沈下掘削が完了し、作業室のコンクリート充填、地下部分橋脚の構築後実施した。

止水壁は、現場内に設けた製作ヤードにおいて全ピース製作し、養生後ケーソン部へ運搬し、組み立てた。

止水壁の組立および撤去には、クローラクレーン(５０ｔ)を使用した。引き抜いたパネルは、ブレーカ(０．７m^3級バックホウ)で破砕し、指定場所へ運搬した。

5)安全管理のポイント

撤去時に、パネルの競り合いにより容易に引き上げられないパネルもあり、所定有資格者を配置するとともに、作業手順を遵守し、安全管理には充分配慮した。

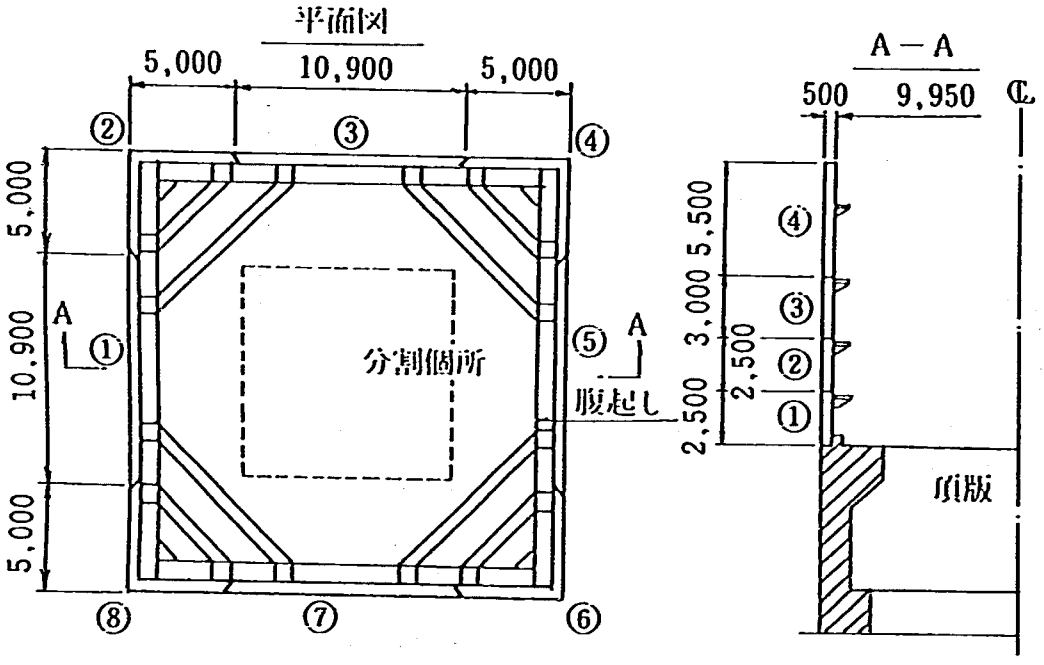
4．2．10　事例15：分割パネルの逐次引上げ

1)概要

橋脚基礎として、1基のニューマチックケーソン基礎を場所打ちRCの止水壁を用いて施工した事例である。

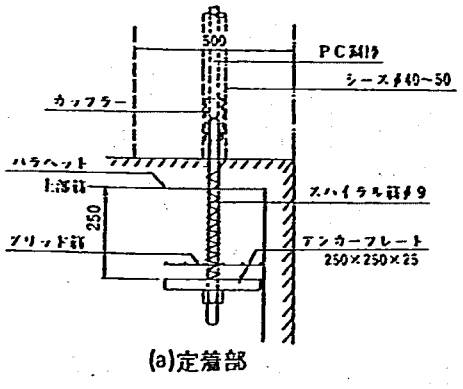
当初設計では、場所打ちRC止水壁にRCの腹起しを設置する計画であったが、施工性、安全性、工程、経済性等を考慮して、鋼製支保工を作成して使用している。

撤去は予め設置しておいた目地部で大きなブロックに分割し、撤去・運搬した後小割解体を行っている。

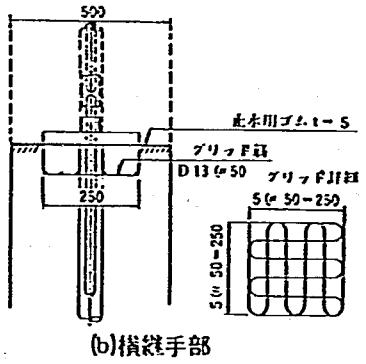


(a)平面の分割　　(b)縦方向の分割

図－4．2．35　止水壁割付図

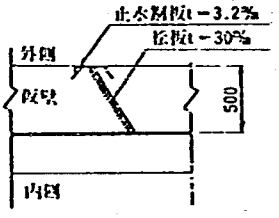


(a)定着部



(b)横継手部

図－4．2．36　鋼棒継手部の詳細



図－4．2．37　縦目地の詳細

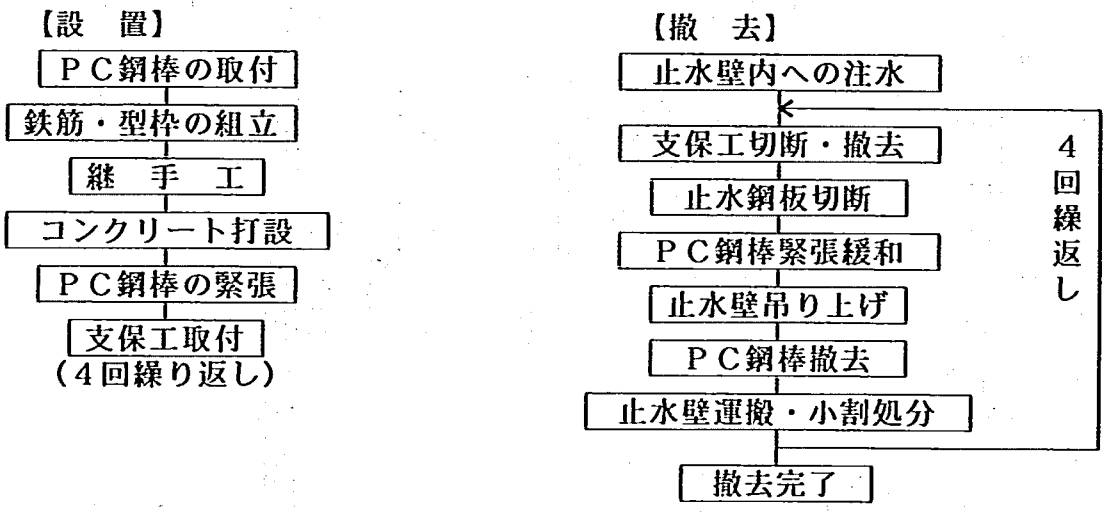
2)止水壁構造概要

止水壁は矩形形状で、２０．９×２０．９m、高さ１３．５m、壁厚５０cmの場所打ちＲＣ構造で、４回に分割して施工している。

止水壁とケーソン本体および止水壁の打継ぎ目の連結は、ケーソン沈設時の吊り下げ状態に対応するため、ケーソン本体に埋め込んだ定着部に、カップラーを介してＰＣ鋼棒を継ぎ足していく構造としている。

ブロックに分割して撤去を行うため、縦目地（松板）を８ヶ所設置している。

3)施工フロー



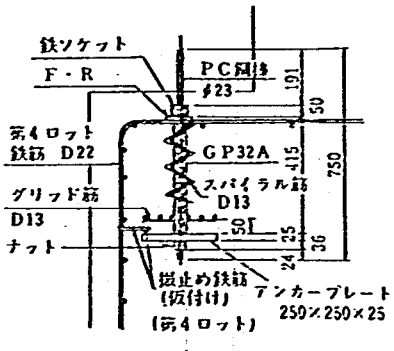
図－４．２．３８　施工フロー

4)施工方法

【設　置】

①ＰＣ鋼棒の取付

本体最終ロットに埋め込んだ定着部（図－７）にＰＣ鋼棒を継ぎ足した。ＰＣ鋼棒の定着長はアンカープレートの押抜きせん断から決定している。ＰＣ鋼棒の配置とプレストレスは、周面摩擦力を２．６tf/m²として設定している。計算の結果、止水壁の第１、第２ロットは１mmピッチ、第３、第４ロットは２mピッチとしている。



図－４．２．３９　ＰＣ鋼棒定着部

②鉄筋・型枠の組立

鉄筋、型枠の組立では、特に垂直性に留意し、ケーソンの　傾き量によって補正している。

③継手処理工

撤去時の解体を容易にするため、各ロットに８カ所の縦目地を設置し、止水性を確保するため、止水鋼板を設置している。また、各ロット間の打継目には、縁切と止水を目的としたゴム板を全面に敷設している。

④コンクリート打設

⑤ＰＣ鋼棒の緊張

コンクリート打設後一週間を目安に緊張を行っている。緊張は偏りを防止するため、１本おきに２周回りで施工している。

主な留意事項は、以下である。

・アンカープレートを鋼棒に対して正しく直角に配置すること

・ナット、カップラーは所定の深さまで確実にいれること

・緊張力に対するＰＣ鋼棒の伸びについても管理すること

⑤支保工取付

【撤　去】

①支保工切断・撤去

一段目支保工は作業足場を用いて、８０ｔ吊り起重機船で吊り上げ可能な大きさに切断して撤去し、台船上で更に切断してトラックで運搬処理している。２段目以降は潜水士によって水中切断を行っている。

②止水鋼板切断

一段目は作業足場上で、二段目以降は潜水士にて各継ぎ目の鋼板を切断・撤去している。

③ＰＣ鋼棒緊張緩和

センターホールジャッキ（３５ｔ）を用いて一度緊張させてナットを緩める。緊張緩和は撤去する止水壁を仮吊りして行っている。二段目以降は水中作業となり、最下段のＰＣ鋼棒はケーソン本体の天端で水中切断して撤去している。

④吊り金具ワイヤー設置

あらかじめ、各ブロック毎に吊り金具を二カ所埋め込んでいる。

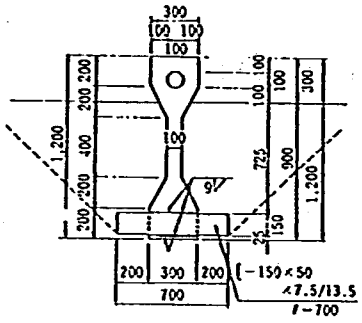
⑤止水壁吊揚げ撤去

起重機船（２００ｔ吊り）で吊り上げ、台船上で２０ｔ程度に大割りしている。直線部は大型道路カッター（厚さ５００㎜切断可能）で、コーナー部はウォールソーで解体している。

台船上での壊し作業を行う場合は、水質汚濁防止のため養生堤を設置している。

⑥ＰＣ鋼棒撤去

⑦運搬小割り



図－４．２．４０　吊り金具の詳細

5)工程

設　置：１ロット当たり35日

足場組立	4.5
ＰＣ鋼棒取付	1.0
鉄筋組立	3.5
型枠組立	8.0
コンクリート工	1.0
養生型枠解体艤装	7.0
ゴムパッキン取付	2.0
ＰＣ鋼棒緊張	2.5
支保工取付	3.5
間詰めモルタル打設	2.0
	35.0日

撤　去：１ロット当たり17日

支保工切断・撤去	2.5
止水鋼板切断	1.0
ＰＣ鋼棒緊張緩和	1.5
止水壁吊り上げ	2.5
ＰＣ鋼棒撤去	0.5
大割・運搬	3.0
小割・運搬	6.0
	17.0日

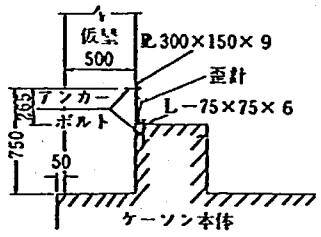
6)安全管理上のポイント

・計測管理

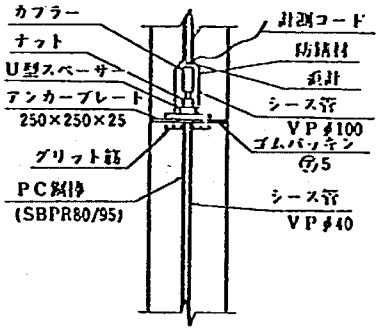
外力、偏荷重により、ＰＣ鋼棒に許容力以上の荷重がかからないように事前にチェックするため、ひずみ計による計測管理を実施した。

止水壁の鉛直方向の一体性について、仮壁下端部にひずみゲージを取り付け、止水壁のコンクリート圧縮力（プレストレスによる導入）がゼロとなる場合のひずみを管理値としている。

ＰＣ鋼棒にもひずみゲージを取り付けてＰＣ鋼棒の張力の測定も行っている。



①ケーソン本体との接続

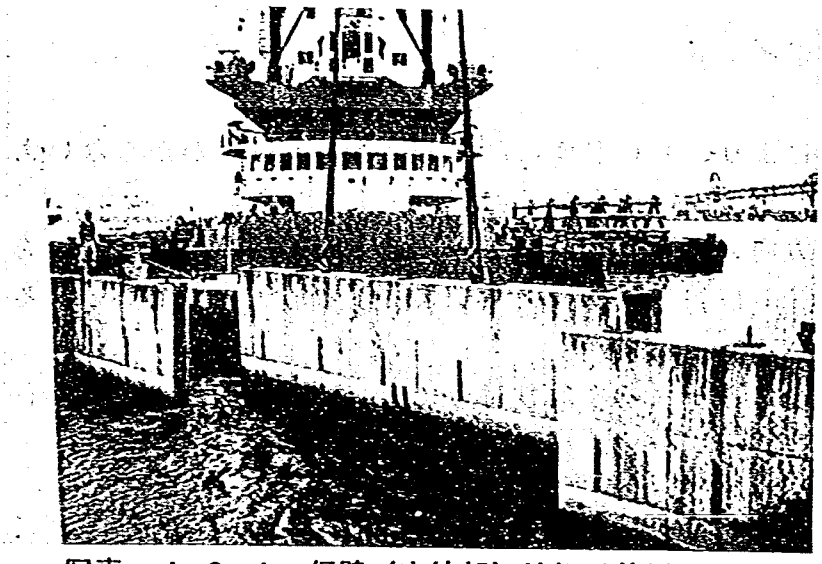


②ＰＣ鋼棒の応力

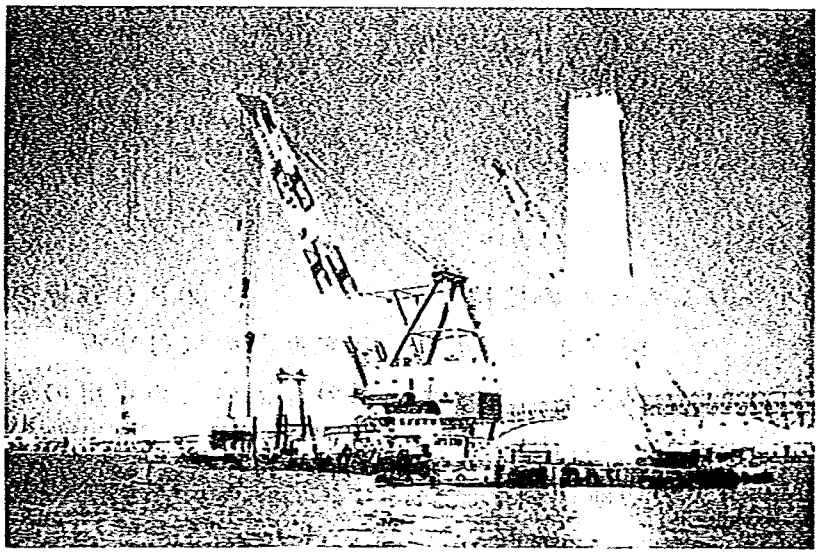
図－４．２．４１　ひずみ計の取付状況

・撤去時には大きなブロックでし、コーナー部の運搬のため専用の架台を製作、使用している。

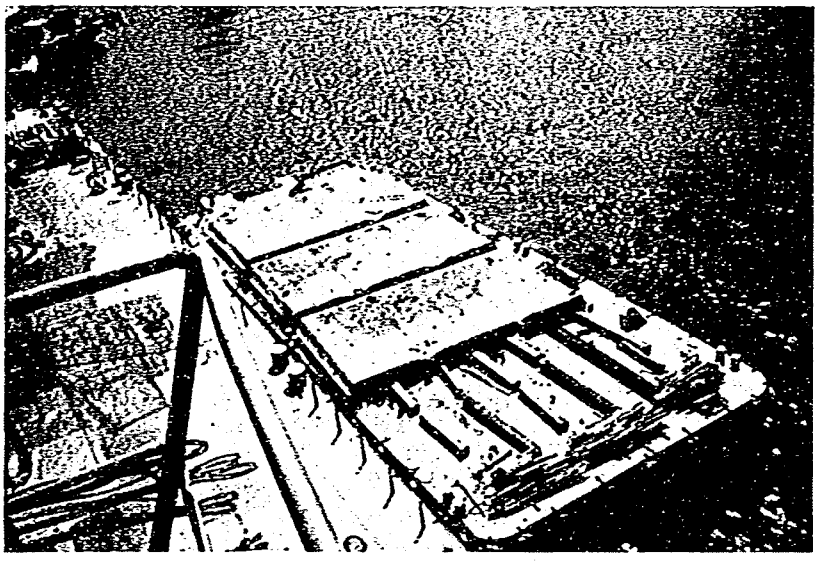
・潜水士による止水鋼板の切断撤去



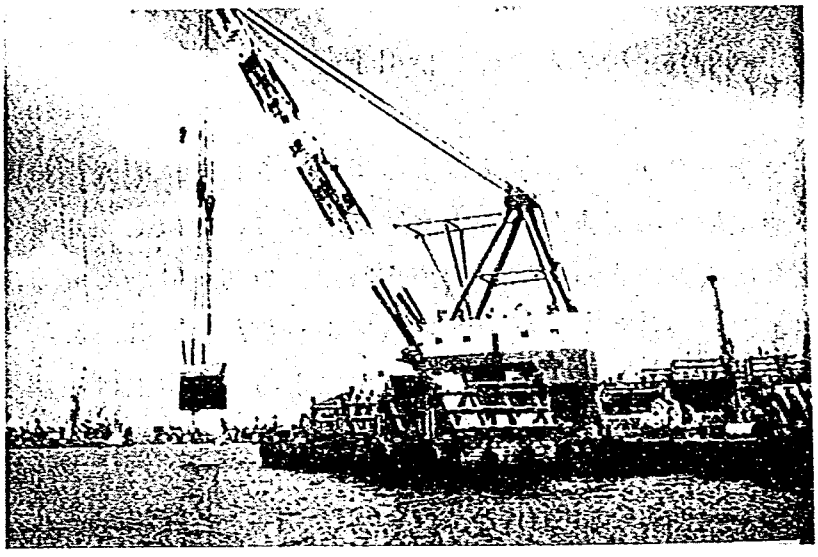
写真－４．２．４　仮壁（直線部）地切り状況
（幅9.9m、高さ5.5m、厚さ0.5m、重量65tf）



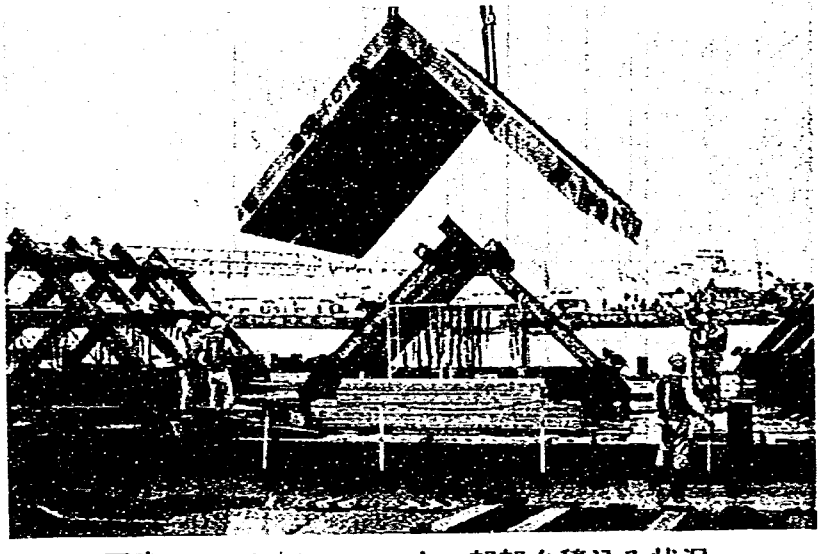
写真－４．２．５　吊上げ撤去状況



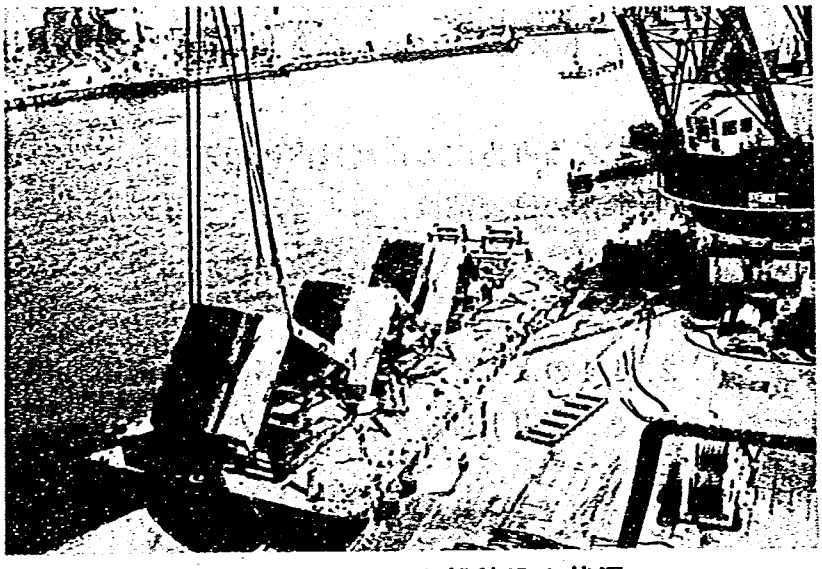
写真－４．２．６　台船積込み状況
（500ｔ級資材台船　12m×30m）



写真－４．２．７　仮壁（コーナー部）吊上げ撤去状況
（クレーン船上でワイヤ掛け直し）



写真－４．２．８　コーナー部架台積込み状況
（仮壁重量691ｔ）



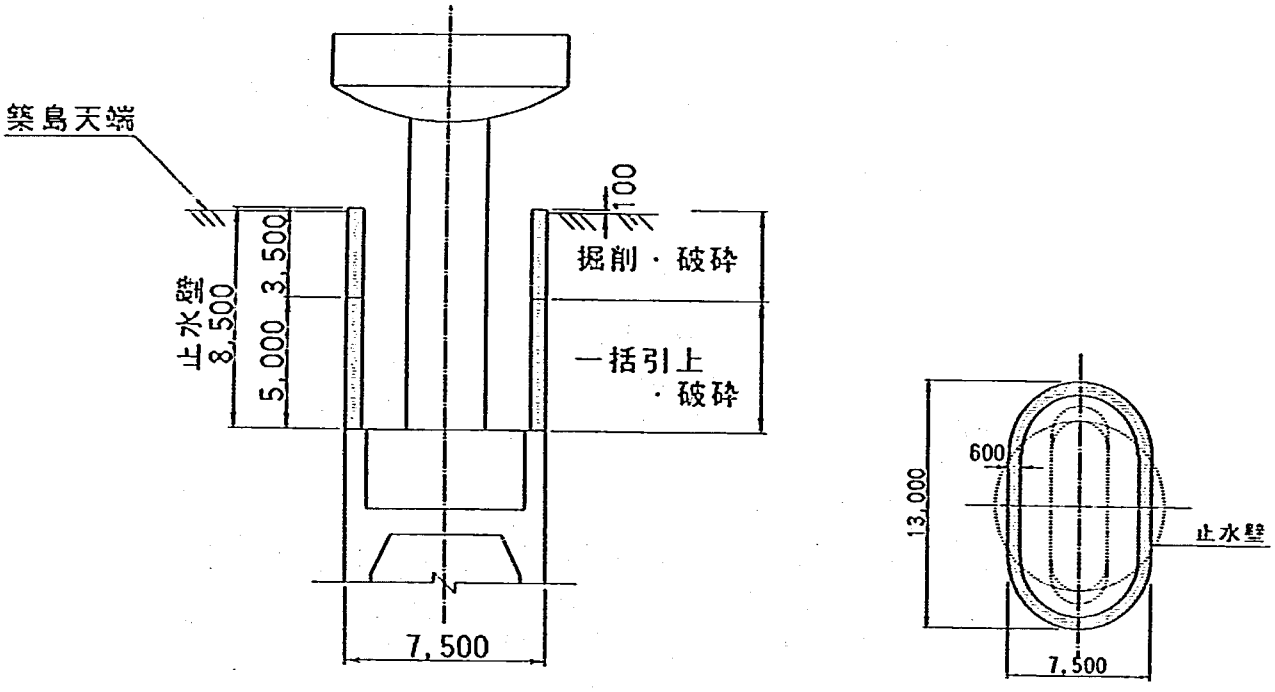
写真－４．２．９　台船積込み状況
（800ｔ級資材台船　13m×35m）

4．2．11　事例16：破砕と下部一括引上げ

1)概要

ニューマチックケーソン工法によって施工された、観光地に隣接する橋梁基礎である。周辺環境への配慮から、止水壁の撤去は、発破を使用せずに最終洗掘深さ以深まで完全に撤去できる工法が求められた。当初、GL.-8.5mまで掘削して止水壁を破砕する予定であったが、掘削が困難であったため、GL.-3.5mまでを掘削、破砕し、以深についてはセンターホールジャッキによる一括引上げ工法を採用した。

ケーソン規模　小判形７．６×１３．０m 深度GL.－２１．５m



図－４．２．４２　止水壁一般図

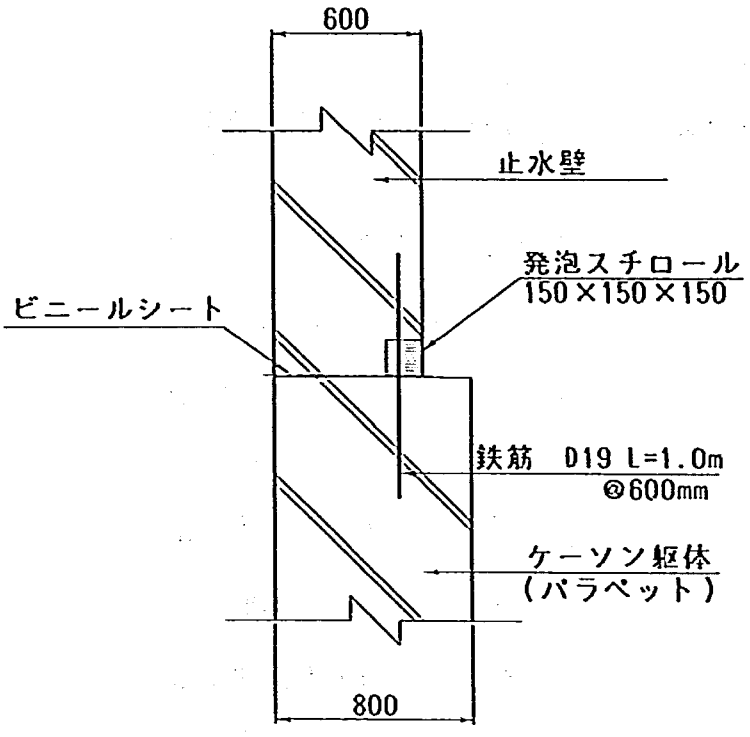
2)止水壁構造概要

止水壁は、小判形７．６×１３．０m、高さ８．５m、壁厚０．６mのＲＣ構造である。

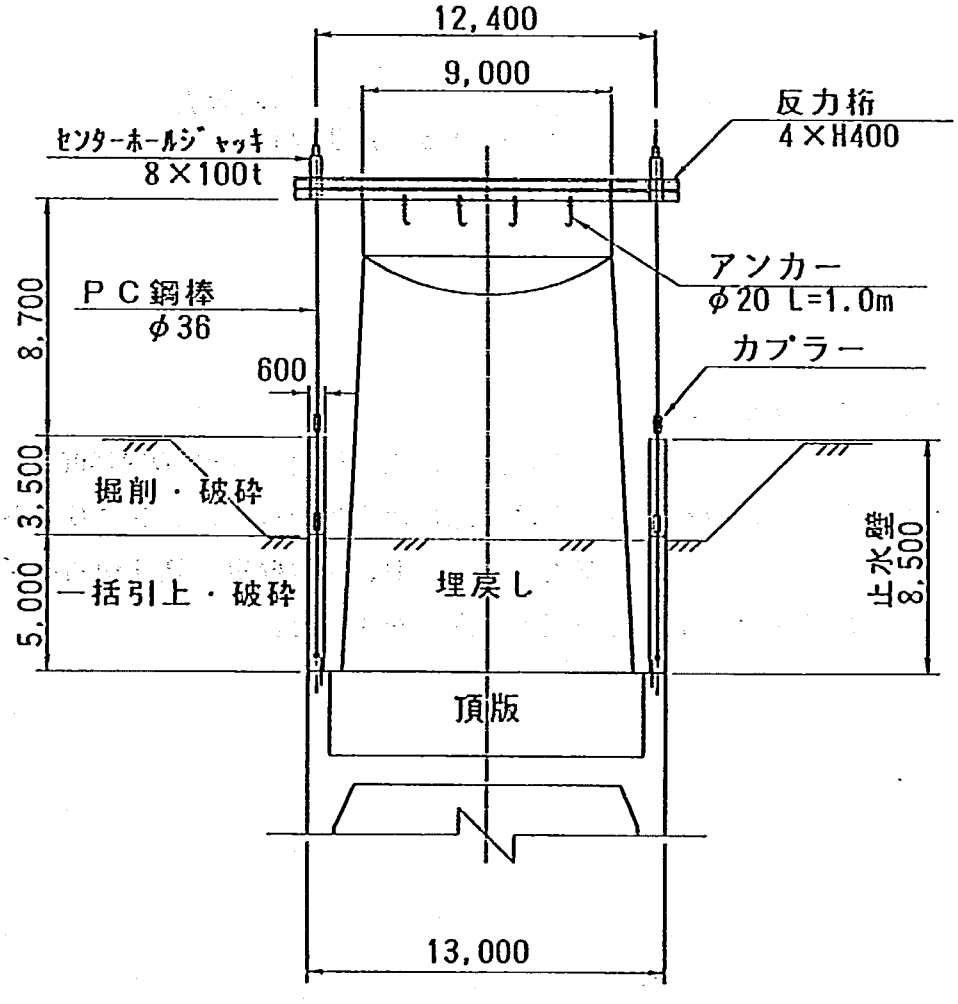
パラペットに定着する鉛直方向の鉄筋は内側のみとし、切断可能な構造とした。

止水壁とケーソン本体の接続部は、図－４．２．４３のように、分離が容易となるようパラペット上面にビニールシートを敷設、鉄筋切断部には発泡スチロールを巻いて止水壁を構築した。

また、図－４．２．４４のように、止水壁内部にＰＣ鋼棒(φ３６mm)を定着し、橋脚頂部よりジャッキで一括引上げする構造とした。



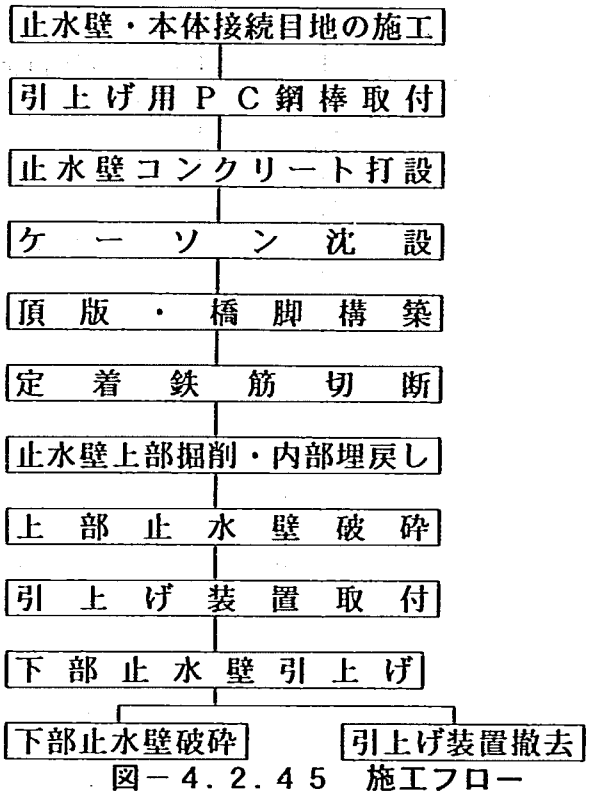
図－４．２．４３　止水壁、本体接続目地部



図－４．２．４４　引上げ装置概要図

3)施工フロー

本工事の施工フローを図－４．２．４５に示す。



図－４．２．４５　施工フロー

4)施工方法

①止水壁・本体接続目地の施工

ケーソン本体パラペットの施工に際し、止水壁定着鉄筋(D19@600, L＝1.0m)を埋め込んでおく。パラペット天端は入念に仕上げを行い、コンクリートの硬化後縁切り材としてビニルシートを布設する。なお、止水壁定着鉄筋切断箇所には発泡スチロールを取り付け、切断時の施工性向上を図った。

②引上げ用ＰＣ鋼棒、ジャッキ

引上げ時、ＰＣ鋼棒に作用する荷重は、止水壁重量、周面摩擦力、目地部付着力であり、これらの合計重量に対して安全性を考慮し、引上げ能力を８００ｔに設定した。これより、引上げ用ＰＣ鋼棒はφ３６㎜を８本用いるものとした。また、引上げ用ジャッキとして、１００ｔセンターホールジャッキを８台配置し、ジャッキの上下に取り付けたリフティング用くさびによりジャッキストローク分を順次盛替えながら引き上げた。

なお、橋脚頂部に設置した反力桁は、滑動、浮上がり防止のため、アンカーにより固定した。

③上部止水壁掘削・破砕

本ケースにおいては、橋脚頂部と地盤のクリアランス確保と、引上げ荷重低減のため、上部止水壁３．５ｍについては周辺地盤を掘削し、バックホウに装着した油圧ブレーカで破砕するものとした。

④下部止水壁引上げ・破砕

止水壁内部埋戻し前に、止水壁定着部発泡スチロールを撤去し、定着鉄筋をガス切断しておく。

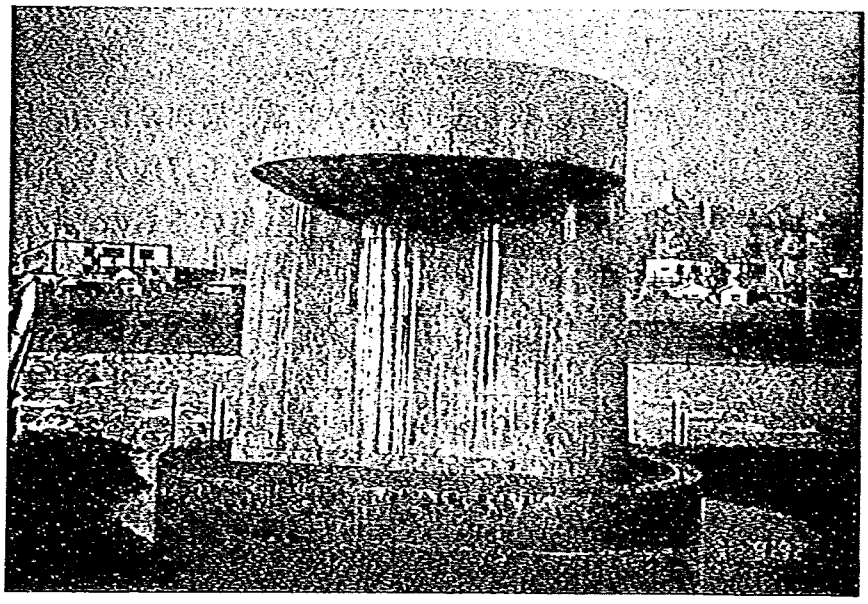
内部埋戻し後、下部止水壁５．０ｍを所定位置まで引き上げた後、バックホウ装着式油圧ブレーカにより破砕する。

5)撤去所要工程

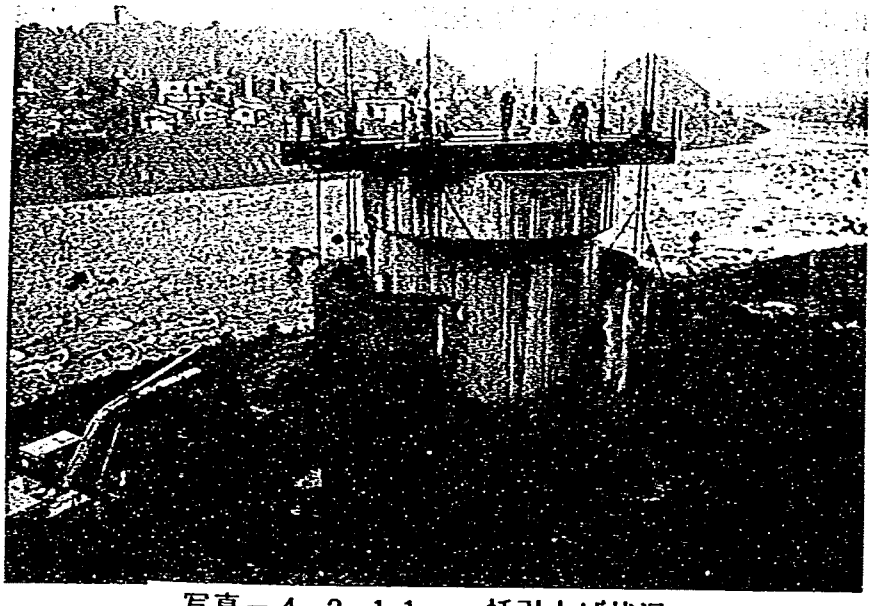
①止水壁定着鉄筋切断	1日
②止水壁上部外周掘削・下部内部埋戻し	2日
③上部止水壁破砕	2日
④準備工(反力桁補強等)	3日
⑤加圧装置設置撤去	3日
⑥止水壁引上げ	2日
⑦下部止水壁破砕	3日
計　延 16日　(一部並行作業可能)	

6)安全管理のポイント

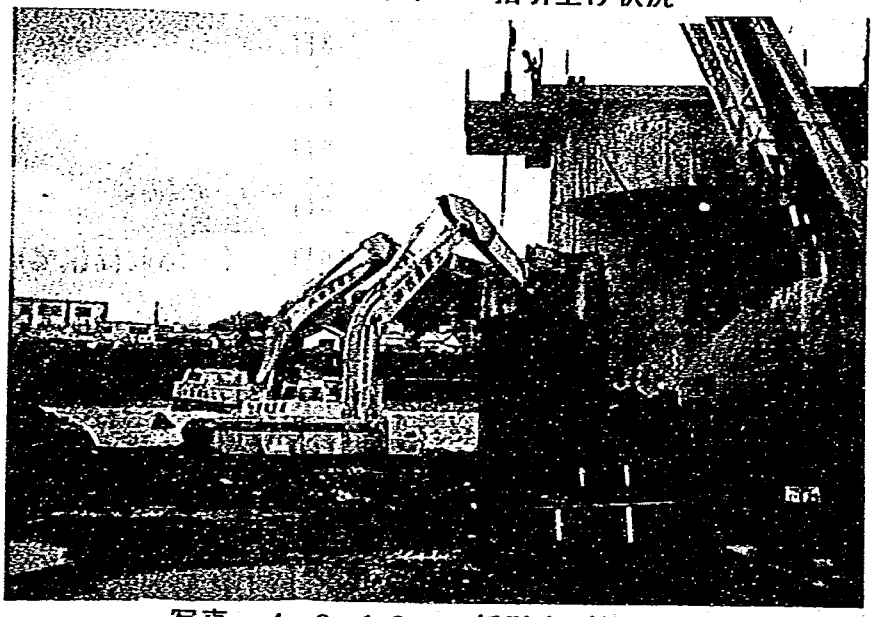
重量物を取り扱う作業であり、所定の有資格者の配置、作業手順書に沿った作業の実施はもちろんであるが、反力桁への偏荷重、反力桁の転倒防止、センターホールジャッキの転倒防止を計画時点から考慮し、安全施工に努めた。



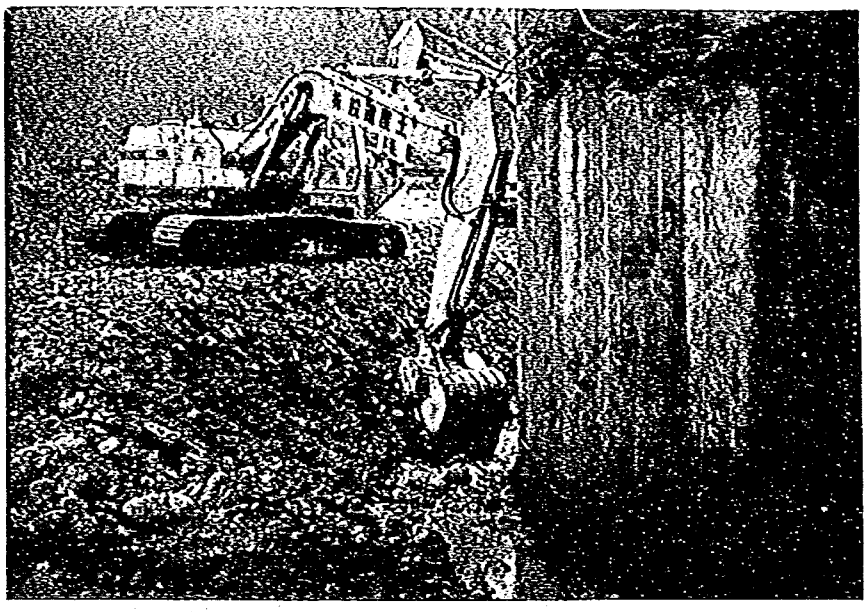
写真－４．２．１０　橋脚構築完了



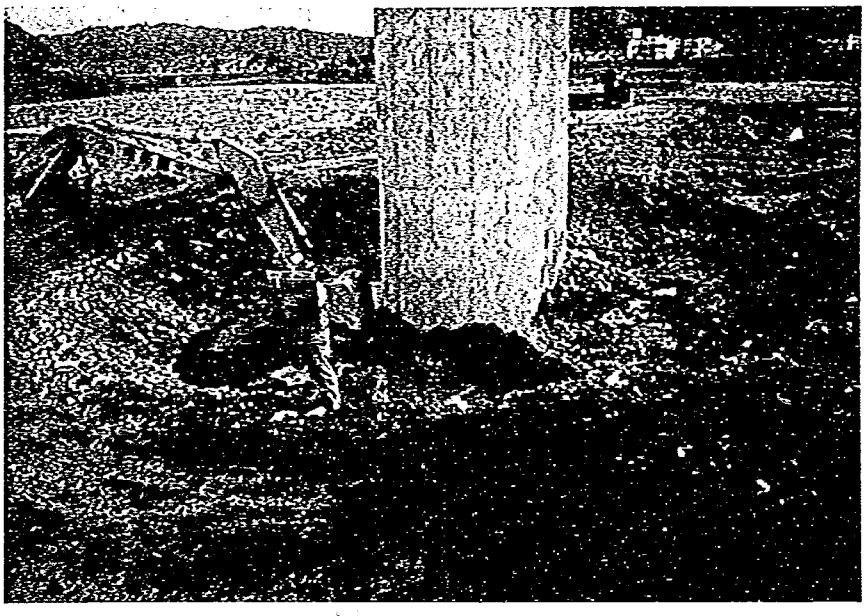
写真－４．２．１１　一括引上げ状況



写真－４．２．１２　一括引上げ状況



写真－４．２．１３　一括引上げ状況



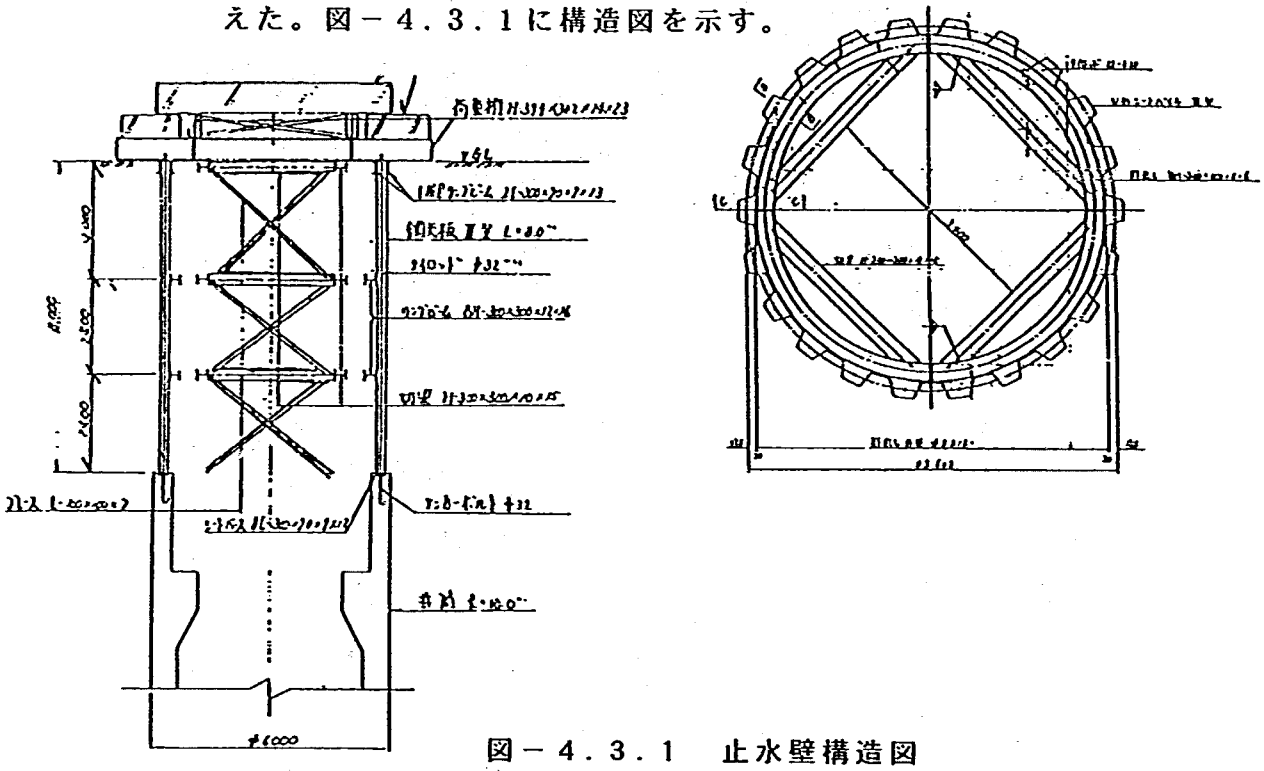
写真－４．２．１４　止水壁撤去完了、埋戻し

4．3　鋼矢板止水壁

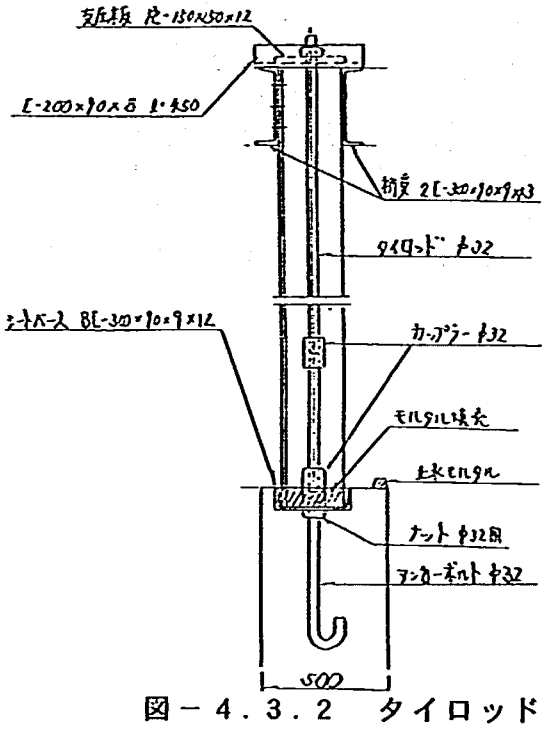
4．3．1　事例１７：切梁を補強し荷重載荷の大規模化

1)概要：荷重載荷による外径６ｍのオープンケーソン沈設に際し高さ８ｍの鋼矢板止水壁と載荷架台を一体化して施工した。

2)止水壁構造概要：切梁の上段と下段相互をブレーシングで補強して荷重載荷に備えた。図－４．３．１に構造図を示す。



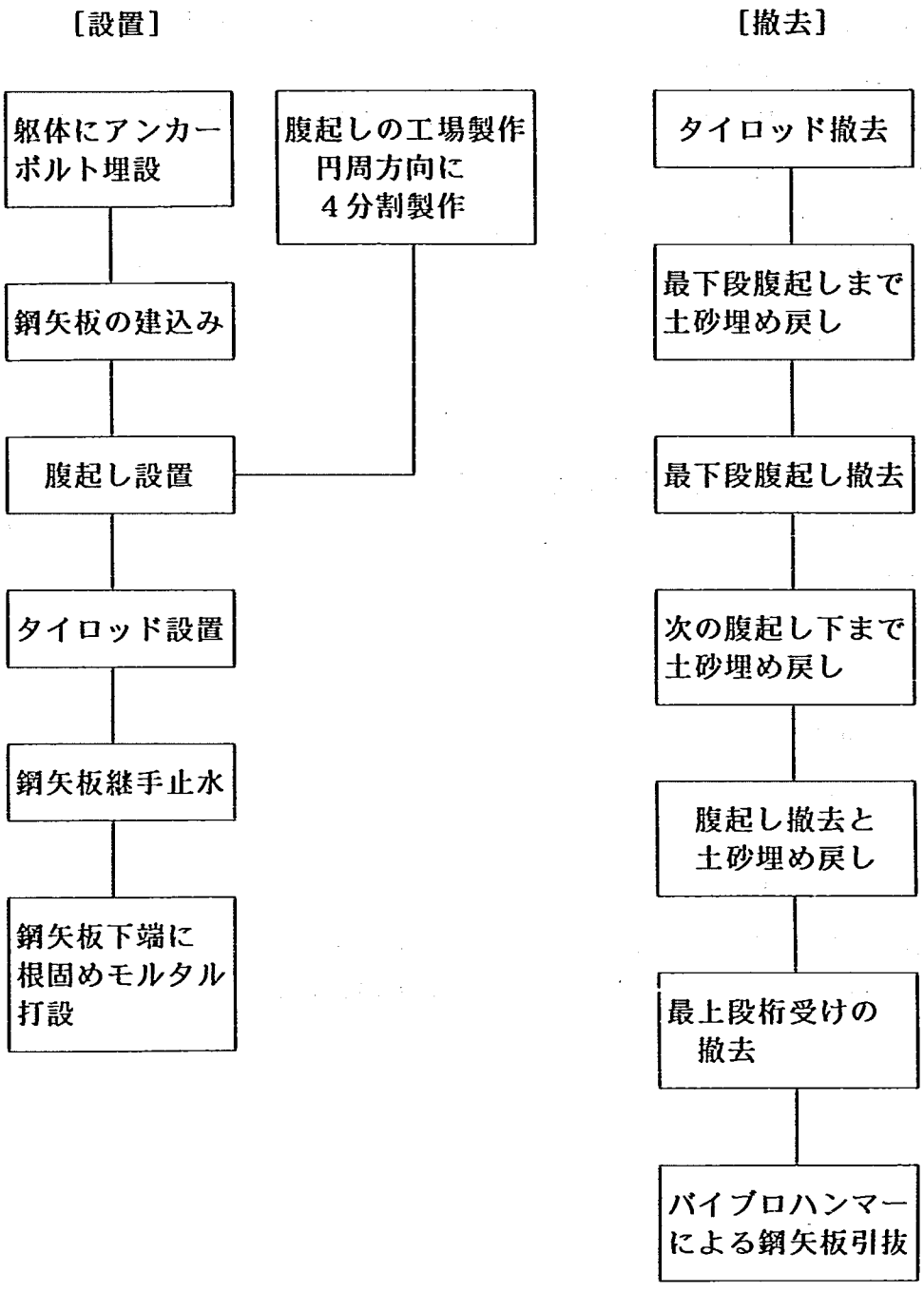
図－４．３．１　止水壁構造図



図－４．３．２　タイロッド取り付け要領

3)施工フロー

図－４．３．３に施工フローを示す。



図－４．３．３　施工フロー

4)施工方法

［設置］

円形腹起しと切梁は円周を４分割したものを１ピースとして工場製作し、現場で組み立てて円周を構成した。

円弧と弦は工場溶接であるが、各ピースの接合はボルト接合とした。最上段は荷重を載せる桁の受け台となるので、溝型鋼 （[-３００×９０）を鋼矢板を間に挟む要領で設置した。積載した荷重は全体で２３０ｔｆであったが、応力度照査はその５０％増しで計算した。タイロッド取付の要領は図－４．３．２を参照のこと。

［撤去］　図－４．３．３の施工フロー参照。

［施工結果］

施工は問題なく終了した。なお、頂版施工に際して水替えをしたところ、掘削時にクラムシェルバケットが腹起しに衝突して生じた腹起しの変形とブレス材の脱落１本を認めた。

5)所要日数

設置：　10日

撤去：5.5 日

6)安全管理のポイント

耐荷機構の構成に含めず用心部材として用いたブレス材の脱落を認めた。耐荷機構を構成する部材には強度面で余裕を持ったものが必要である。

4．3．2　事例18：止水壁内部埋戻し後１枚毎の引抜き

1)概要

橋梁基礎をニューマチックケーソン工法で施工し、止水壁は鋼矢板を使用した例である。鋼矢板止水壁は、

①計画河床まで完全に撤去できること

②安全に作業できること

③工期が短期間であること

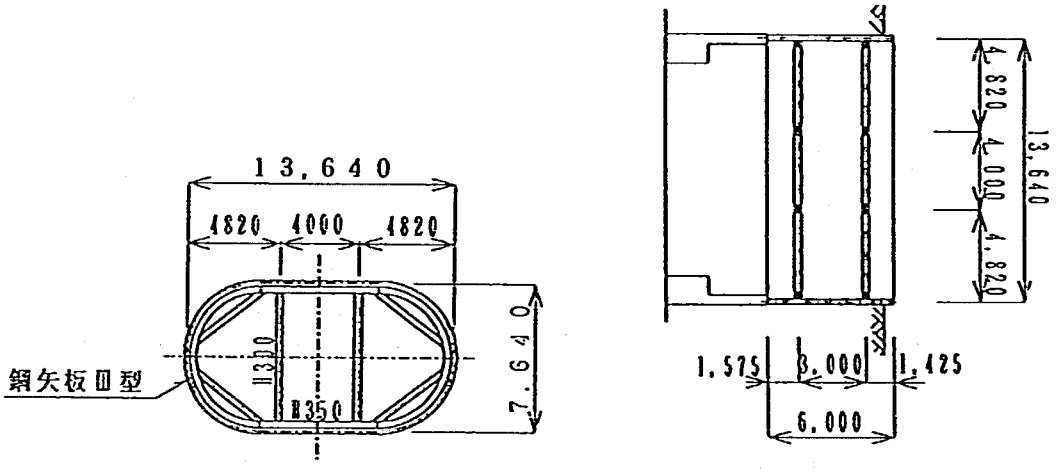
④河川の水質に影響を与えないこと

等の理由から採用された。

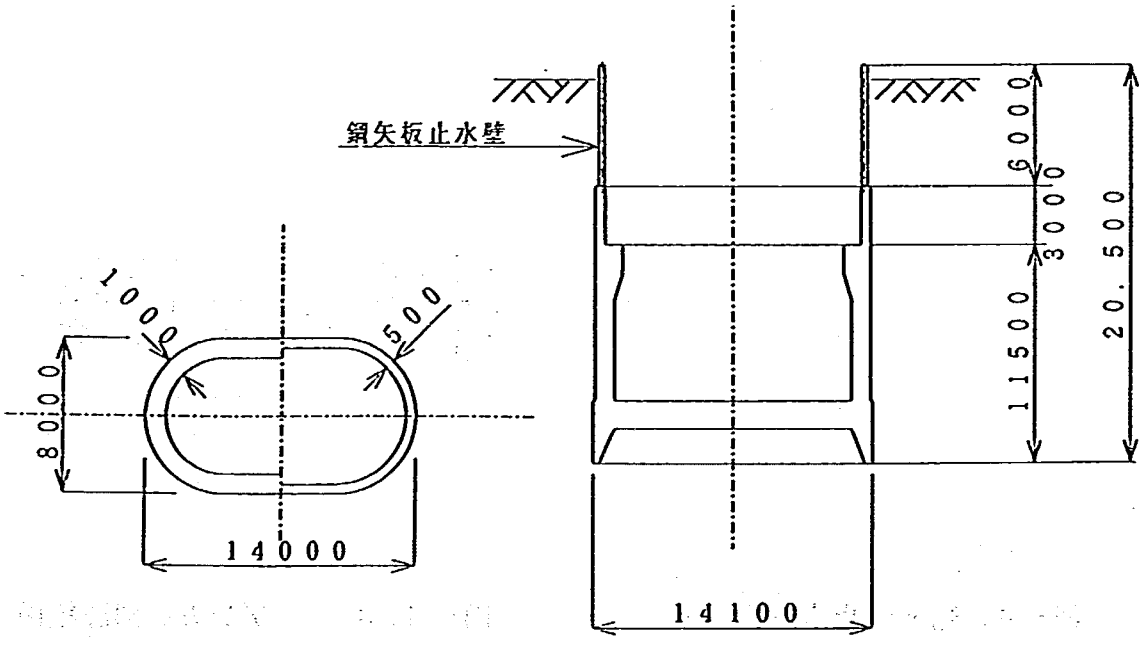
ケーソン規模　小判形　８．００×１４．００ｍ

本体高さ　１４．５０ｍ　止水壁高さ　６．００ｍ

ケーソン沈設深さ　２０．００ｍ



図－４．３．４　ケーソン一般図

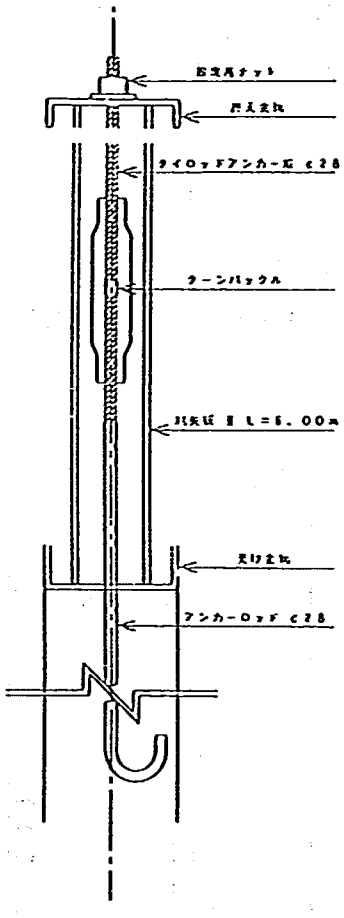


図－４．３．５　止水壁一般図

2)止水壁構造概要

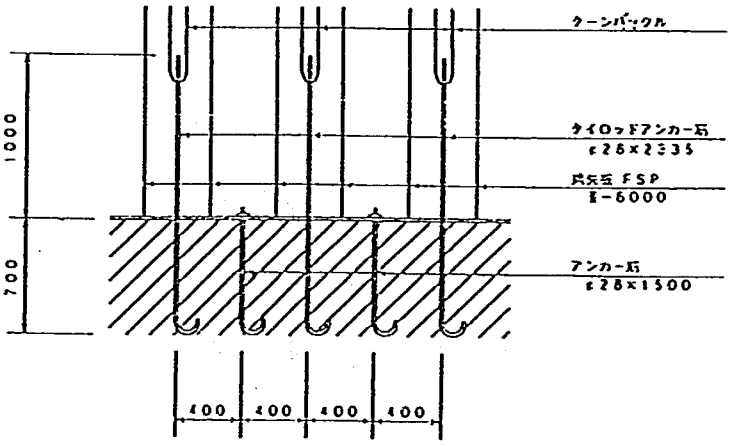
図－４．３．６、７に示すように、パラペットに取り付けた受け金物に、長さ６ｍのⅢ型鋼矢板を建込み、鋼矢板天端には押さえ金物を設置、パラペットに埋め込んだアンカー筋と押さえ金物をタイロッドとターンバックルで連結緊張する構造である。鋼矢板建込み後、受け金物にはモルタルを充填し固定止水する。鋼矢板セクションには止水材を塗布しておく。

止水壁鋼矢板は、押さえ金物を撤去すれば容易に引抜き可能である。タイロッドアンカーは切断除去、受け金物は埋殺しである。

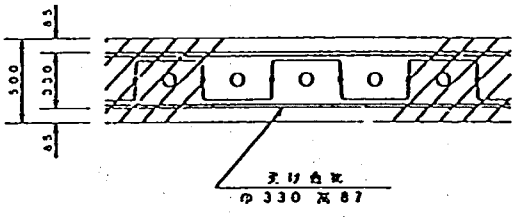


図－４．３．６　止水壁詳細図

正　面



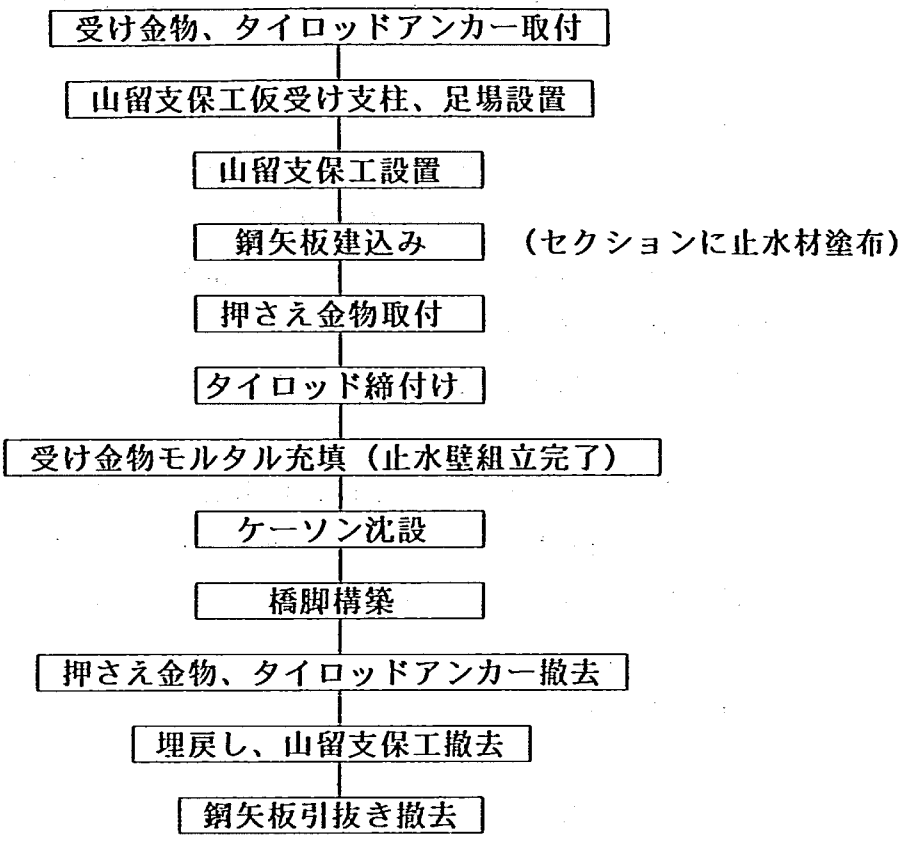
平　面



図－４．３．７　アンカー部詳細図

3)施工フロー

図－4．3．8に施工フローを示す。



図－4．3．8　施工フロー

4)施工方法

通常の山留支保工では、先に打設した鋼矢板にブラケットを設置するが、当工事では支保工を先に設置し、これに沿って鋼矢板を建て込み止水壁を組み立てた。

鋼矢板は必ず閉合させる必要があるため、アンカー筋の配置等、止水壁の計画段階で種々の検討を行っている。以下に、各作業のポイントを記す。

①鋼矢板受け金物、タイロッドアンカー設置

受け金物は仮組をして閉合状態を確認した。パラペット鉄筋組立完了後、受け金物の水平精度とタイロッドアンカーの鉛直性を確認しながら設置した。コンクリートの打設圧力による変位を防止するため、補強鋼材で固定した。

②山留支保工仮受け支柱、山留支保工

蓋板受けから止水壁天端まで、曲線部と直線部に計６ヶ所Ｈ型鋼を支柱として設置した。これにブラケットをボルトで固定し、腹起し材を取り付けた。鋼矢板建込み完了後、鋼矢板側にブラケットを付けて腹起し材を受け、切梁、火打ち材を設置固定した。

③鋼矢板建込み、固定

鋼矢板の長さは、全て規定寸法となるように検査して揃え、曲がったものは除外した。これは、寸法が不揃いであると天端が凸凹して受け金物の設置が困難になり、タイロッドを緊張したときに一部に応力が集中することを避けるためである。

建込みは、円形部から順に腹起し材に立てかけ、溶接仮固定しながらセットしていった。さらに、用心のため、鋼矢板外側にワイヤロープを回して固定した。鋼矢板セクション部にはグリスを塗布した。

押さえ金物の取付およびタイロッドの緊張については、円形部から順次仮締めを行い、全ピース設置後本締めを行った。

受け金物と鋼矢板の隙間には、止水と固定を兼ねモルタルを充填した。

④撤去

ケーソン沈設、橋脚構築完了後、止水壁の撤去作業を行った。タイロッドのターンバックルを外し、タイロッド、押さえ金物を除去、アンカー部を切断除去した。埋め戻しながら山留支保工を撤去し、バイブロハンマで鋼矢板を引き抜き、撤去を終了した。

⑤主な使用機械器具

クローラクレーン	40 t	1台
バイブロハンマ	40kW	1台
レバーブロック	2 t	2台
電気溶接機	10kW	1台
ガス切断器		1式

5)所要工程

〔設置〕

受け金物設置	2日
山留支保工設置	5日
鋼矢板建込み	4日
押さえ金物、タイロッド	3日
止水処理他	1日
足場組立、解体	3日
計	18日

〔撤去〕

タイロッド撤去	2日
埋戻し	2日
山留支保工撤去	2日
押さえ金物、タイロッド	1日
鋼矢板引抜き撤去	3日
足場組立、解体	1日
計	11日

6)安全管理のポイント

高所作業で重量物を扱うことから、下記事項に配慮した。

①止水壁に関する応力計算のチェック

②足場、作業床および昇降路の検討としっかりした計画

③作業手順の周知徹底

④有資格者の配置

⑤重機械および玉掛け工具等の始業点検の徹底

⑥使用鋼材の転倒、転落防止

4．4 鋼殻等の特殊な止水壁

4．4．1 事例19：分割引上げ

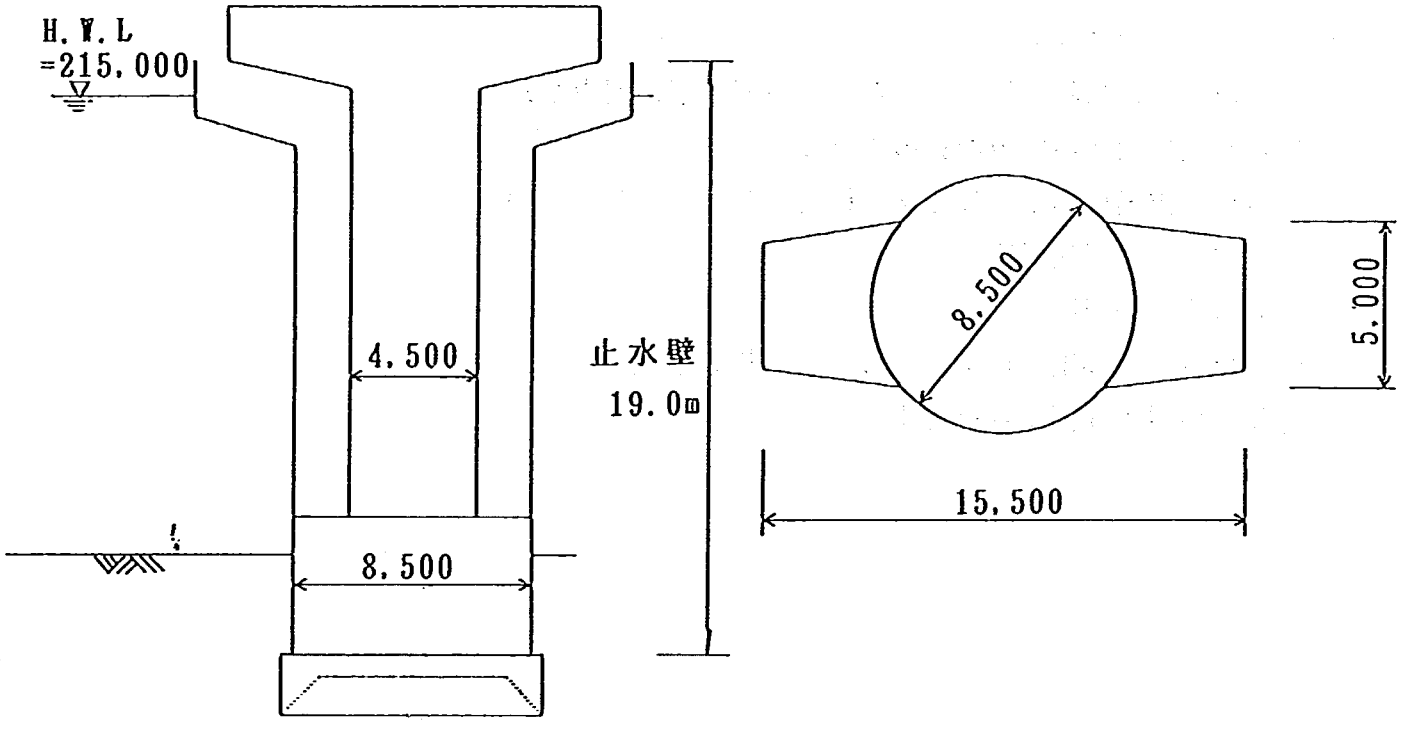
1)概要

ニューマチックケーソン工法で施工された橋梁基礎で、橋脚躯体完成後、止水壁内に注水して内外の水位をバランスさせた後、潜水作業により接合部のボルトをはずし、桟橋上のクレーンにより止水壁を解体撤去した。

ケーソン規模　円形　　：φ８．７ｍ×２１．５ｍ
着水水深　：１１．５ｍ
沈下掘削深さ　：９．５ｍ

2)止水壁構造概要

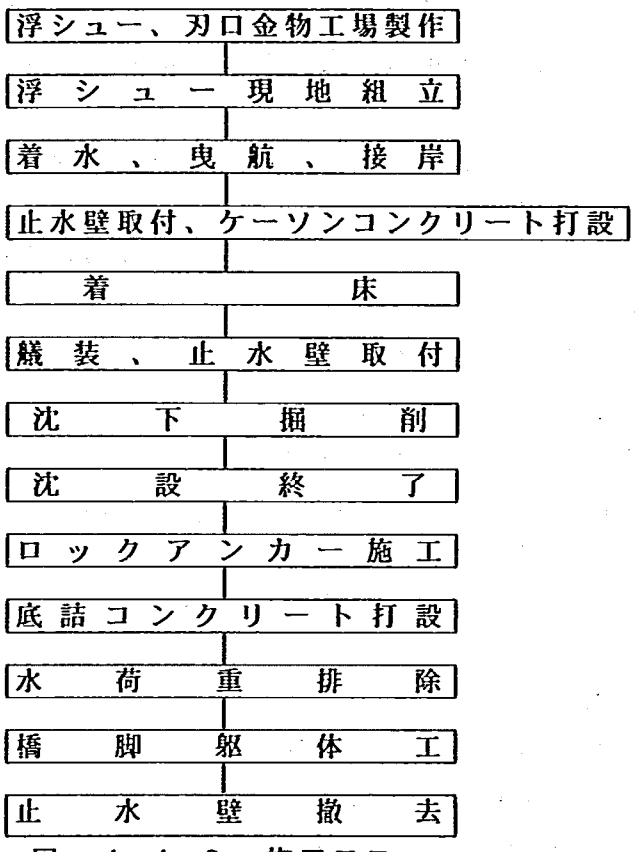
止水壁は円形(頂部は橋梁基礎の形状に合わせて拡張してある)φ８．５ｍ×１９．０ｍの鋼製である。高さ方向に7分割、断面方向には４分割(最頂部ブロックは６分割)とし、工場製作したものを使用した。ピース間のジョイントは縦横ともゴムパッキンで止水したボルト接合である。ただし、最底部の止水壁と刃口金物(浮シュー)の接続は溶接接合である。



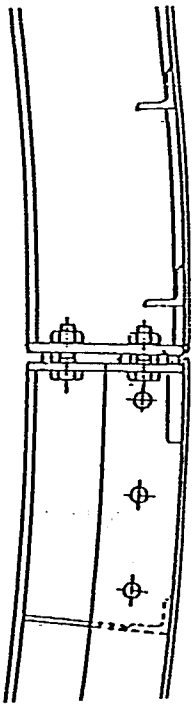
図－４．４．１　止水壁一般図

3)施工フロー

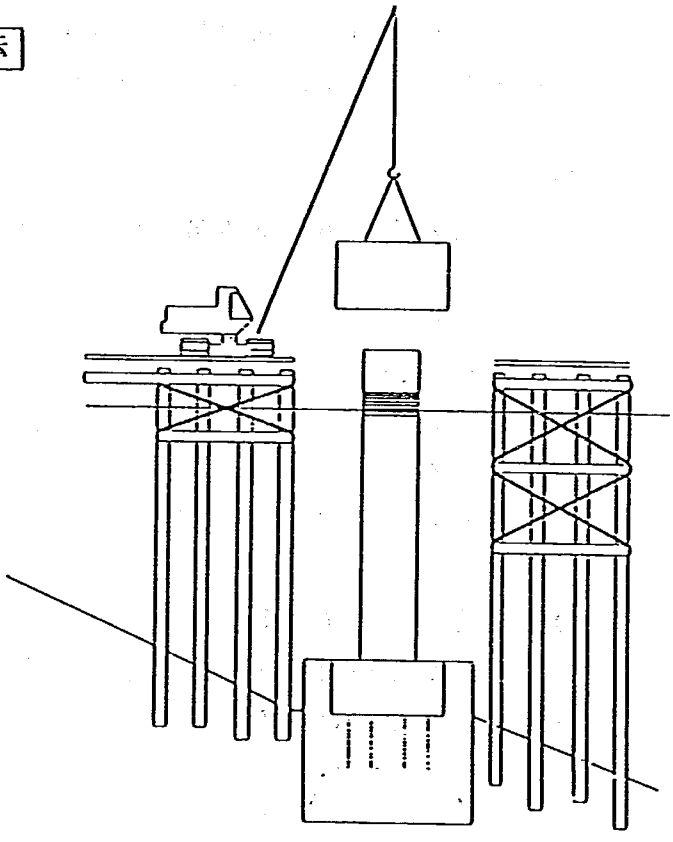
本工事の施工は以下のフローの通り実施された。



図－4.4.2　施工フロー



図－4.4.3　止水壁ジョイント部



図－4.4.4　止水壁解体撤去概要図

4)施工方法

①最底部止水壁組立

浮シュー組立ヤードで浮シューを組立した後、最底部の止水壁を組み立てる。

浮シューと止水壁ピースの間は溶接接合とした。また、止水壁外部には着水後の浮シューの姿勢を把握するため、刃先からの高さを１０cmごとにマーキングした。

②止水壁組立、沈設

最底部止水壁組立後、１５０ｔ吊トラッククレーンを用いて浮シューを着水させヤード対岸の沈設位置まで曳航する。

この後、作業桟橋上のクローラクレーンを使用して２段分の止水壁を組み立てる。このとき、浮シューは着床前で重心が高く非常に不安定であるため、止水壁組立時には重量のバランスに充分留意する必要がある。

２段の止水壁の組立が完了した後、浮シューにコンクリートを打設する。さらに２段の止水壁を組み立てた後コンクリートを打設してケーソンを着床させる。着床後、送排気設備等の艤装を行った後、所定の深度まで沈下掘削を行う。沈下に合わせて残り２段の止水壁を組み立てる。

止水壁内部には注水を行い、沈設荷重として利用する。

③止水壁解体

橋脚躯体完成後、止水壁内に注水し内外の水圧をバランスさせ、潜水士により止水壁各ピース間の接続ボルトを取り外して、クレーンを用いて撤去を行う。河床部のピースについては水中切断により撤去する。

撤去した止水壁は、もう1基の橋脚の施工に転用した後、スクラップ処分する。

5)工程

撤去高さ１２ｍ、解体吊上げを含み１０日間。

人員構成

世話役	1人
潜水士	2班(送気員、助手含)
とび工	4人
クレーン運転士	1人

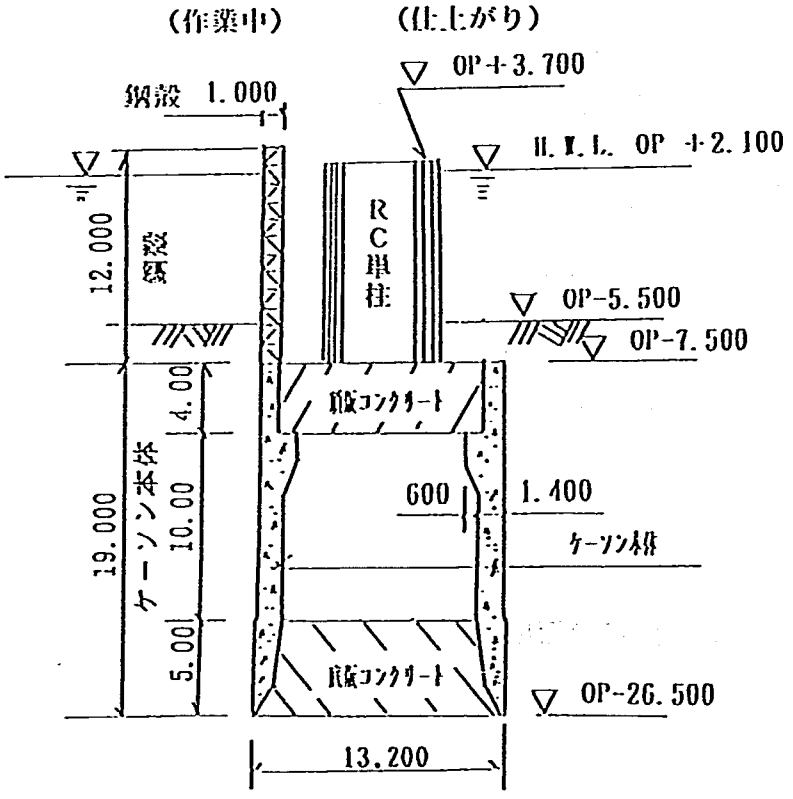
6)安全管理のポイント

シューが浮いた状態で止水壁の組立を行うため、重量バランスに充分配慮しながら能勢工が必要となる。

４．４．２　事例２０：水平方向に２分割し上下部それぞれを一括引上げ
-- 大型起重機船による鋼殻止水壁一体型・一括吊込みオープンケーソン工法 --

1)概要

工区内を２４時間運行の高速フェリーが横切る鳥獣保護特別地域内でのケーソン工事である。止水鋼殻は海底面下(GL.-)２．０ｍで撤去し転用するという拘束条件下での施工である。平均水深は７ｍ、海底地盤は約１３ｍ堆積した超軟弱な海成粘土であるといった条件を利用し、在来工法と比較して品質、安全、公害に有利で、工期、工費がその２/３となる大型起重機船(Floating Crane:FC)による「大型起重機船による鋼殻止水壁一体型・一括吊込みオープンケーソン工法」を採用して大型橋脚基礎１２基を築造するものである。（図－４．４．５）



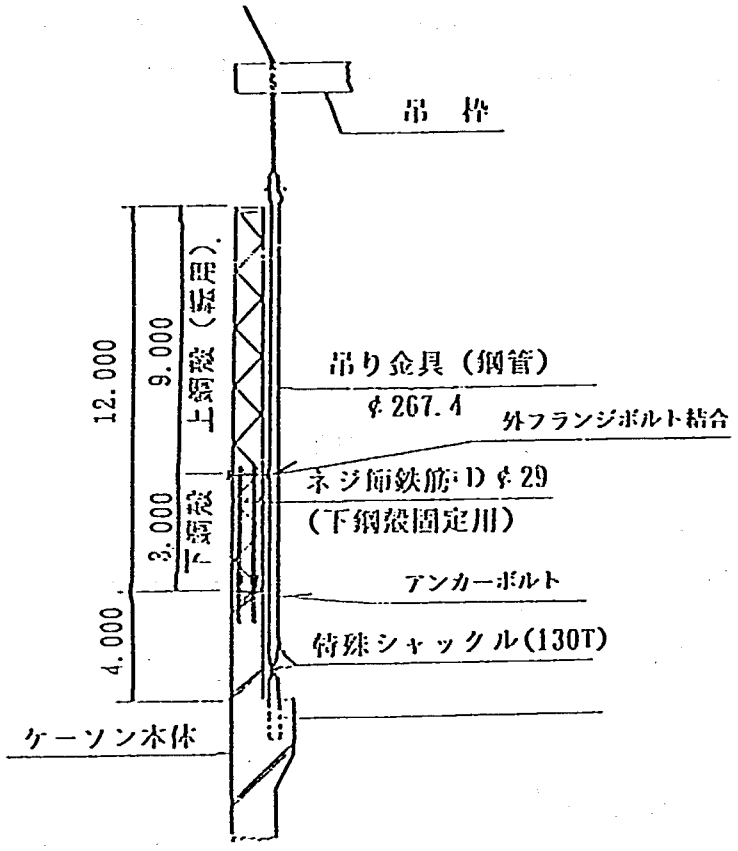
形状・寸法 縦 × 横 × 高さ × 幅	重量 (t)	数量 (基)
17.5×13.0×12.0×1.0	177.0	4
13.0×13.0×12.0×1.0	140.0	4
18.5×13.0×12.0×1.0	180.0	4

図－４．４．５　一般構造図

2)止水壁構造概要

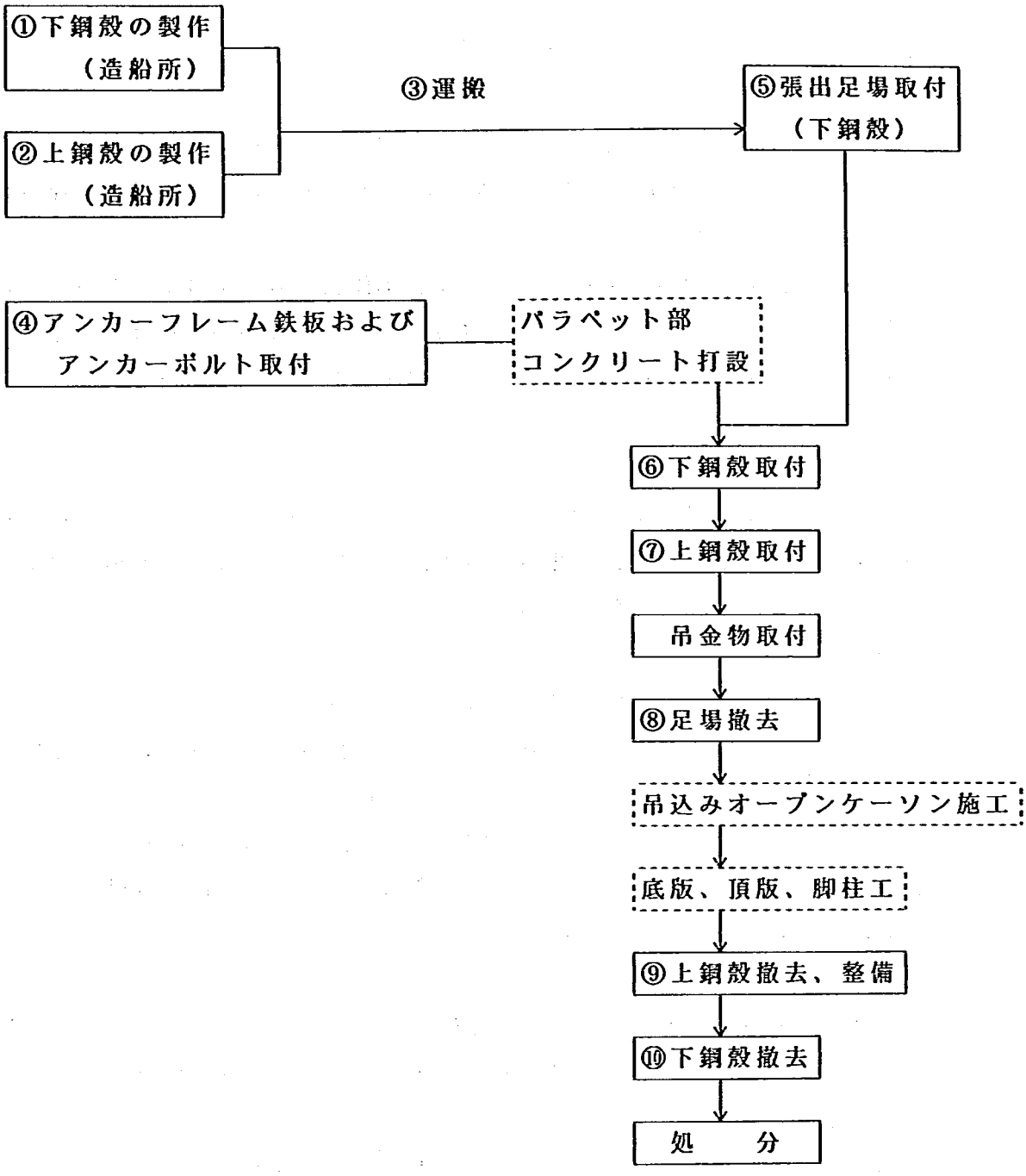
止水壁は小判形または円形で、高さ12mの二重鉄板と等辺山型鋼で骨格をなすラチス構造による鋼殻である

撤去時の浚渫や潜水夫を鋼殻内に入れる危険作業をなくすため、鋼殻は上下2分割（上鋼殻９m、下鋼殻３m）とし結合はボルト結合とした。（図－４．４．６）



図－４．４．６　鋼殻計画図

3)施工フロー



図－４．４．７　施工フロー

4)施工方法

①②上下鋼殻の製作

造船所にて上下鋼殻を製作した。

③運搬

製品検査完了後、３００ｔｆFCにより、専用の吊枠を使用して歪まないように、１，５００ｔｆ台船に上下鋼殻を吊込み、１，５００PSの曳船で現地まで曳航した。

④アンカーボルト取付

ケーソン本体のパラペット頂部にケーソン本体と鋼殻の結合用アンカーボルトを取り付けた（図－４．４．５）。ボルト（φ25㎜）の本数が約４００～５００本と多いため、型枠の天端に埋込のテンプレート（ｔ＝２５㎜）を使用し、アンカーフレームとした。

⑤足場取付

イ)ケーソン本体（Ｈ＝１９．０m）足場を、下鋼殻とケーソンの結合用に整備した。

ロ)上下鋼殻の外フランジのボルト結合用に、差込み型ブラケット足場（工場製作）を台船上の鋼殻に取り付けた。

⑥下鋼殻取付

３００ｔFCでケーソン本体上に下鋼殻を取り付けた。

仮止め後、本体のアンカーボルトとカップラー付き長ボルトにより２cmの水平移動を許容するヒンジ結合とした（図－４．４．５）。

本締めは鋼殻のマンホールより鋼殻内に入り、無線連絡して内外で行った。

ジョイント部の止水は、水膨潤性シールをあらかじめ本体に取り付け、はみ出し防止のため鋼殻に帯鉄を工場取付した。

⑦上鋼殻取付

３００ｔFCで下鋼殻上に上鋼殻を取り付けた。

結合は、下鋼殻のブラケット足場上での外フランジボルト接合である。

⑧足場撤去

下鋼殻の差込み張出し足場とケーソン本体の足場を撤去した。

なお、張出し足場は転用した。

⑨上鋼殻撤去および整備

潜水夫で鋼殻内外の外フランジボルトを外し、専用吊枠を用いて３００ｔFCで静的に引上げヤードへ吊り曳航し、仮置、整備後転用した。（図－４．４．６）

⑩下鋼殻撤去、および処分

下鋼殻上で潜水夫がカップラー付き長ボルトを撤去し、３００ｔFCで土中より下鋼殻を強制的に引き抜いた。この下鋼殻は、ひずみが発生するため転用せず、スクラップヤードへ吊り曳航しスクラップ処分とした。（図－４．４．６）

5)所要工程

①設置工

・造船所

鋼殻製作	6ヶ月

・海上

鋼殻運搬	2日

・ケーソンヤード

アンカーフレーム、アンカーボルト取付	3日
(下鋼殻)	
ブラケット足場取付	1日
止水ゴム取付	1日
下鋼殻設置	1日
ネジフシ長ボルト取付け	2日
同　上　　本締め	3日
(上鋼殻)	
止水ゴム取付	1日
上鋼殻設置	1日
ボルト取付けおよび本締め	2日
ブラケット足場撤去	2日

②撤去

・ケーソンヤードおよび海上

(上鋼殻)	
ボルト撤去	4日
鋼殻撤去	1日
鋼殻運搬	2日
(下鋼殻)	
長ボルト撤去	6日
鋼殻撤去	1日
鋼殻整備	7日

・スクラップヤード

鋼殻解体	7日

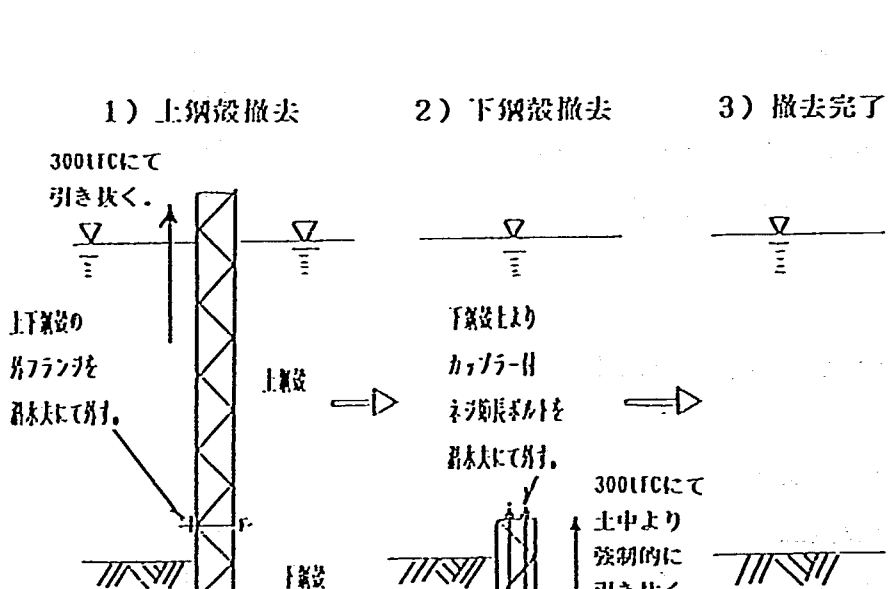
6)安全管理のポイント

鋼殻設置はケーソンヤードでの高所作業であり、下記の事項に特に注意して作業した。

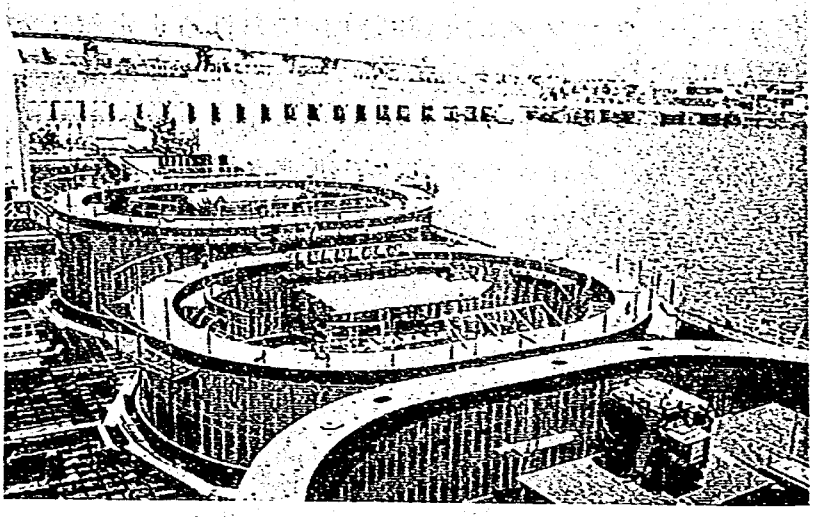
・３００ｔFCは、航行船の波や、高波時に揺れるため作業を行わない。
・鋼殻は面積が大きいため、強風時に作業を行わない。
・張出し足場の取付は地上で行う。撤去は差込式で行うが、作業員は玉掛けのみとし、待避してから撤去を行う。
・作業の連絡は、合図者を指名して無線で行う。
・鋼殻設置にはガイドを設け、仮置後微調整して正規位置に設置する。

鋼殻撤去は水中作業となるため、下記の事項に特に注意して作業した。

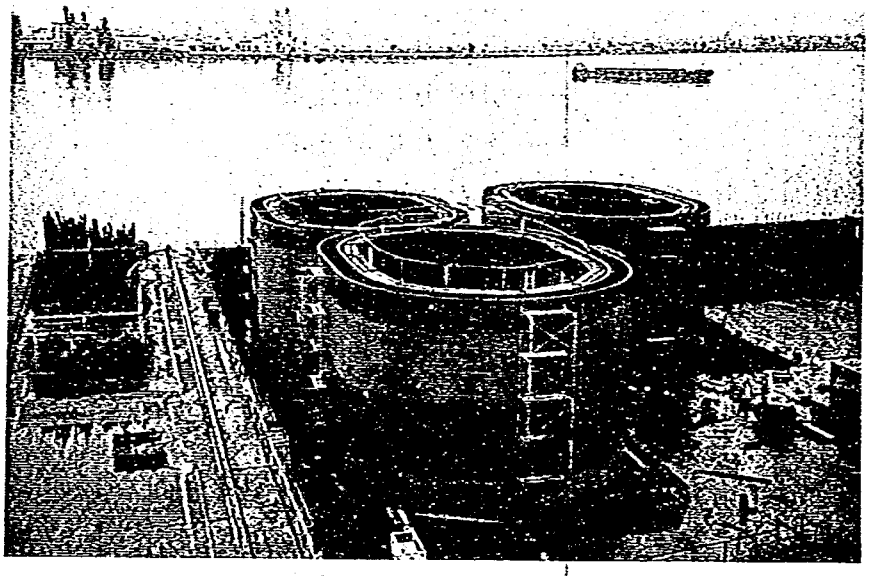
・潜水士は上下で無線連絡しながら作業する。
・波が高いときに上鋼殻撤去作業は行わない。
・一部をポンチで仮固定しながら全ボルト撤去後、３００ｔFCで吊固定してからポンチを外し、潜水士が待避した後吊り上げる。



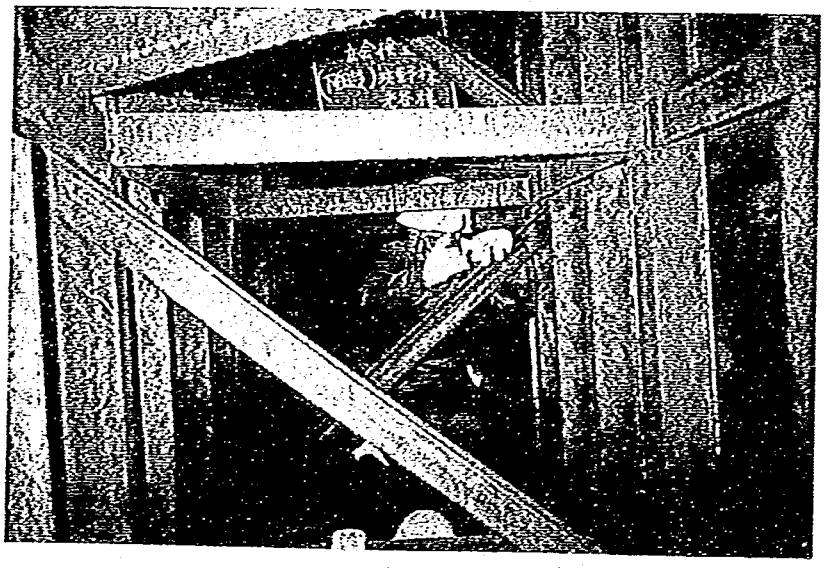
図－４．４．８　止水壁撤去手順図



写真－４．４．１　下鋼殻製作完了



写真－４．４．２　上鋼殻製作完了



写真－４．４．３　工場検査状況

第５章　「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」における止水壁工法の提案

従来の止水壁材料としては、無筋コンクリート、鉄筋コンクリート、鋼矢板、鋼製パネルおよびプレキャストコンクリートブロックなどが使用されており、採用にあたっては各止水材料の特性や設計・施工条件等を考慮して決定されている。

止水壁は、「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」の特徴（PCa化、自動化、省力化）を十分に生かすことができる材料や施工法でなければならない。そこで、止水壁材料は施工性、汎用性および経済性に優れたもので、現在入手が容易な既製品もしくは多少の改良を図り利用できる既製品を提案する。

５．１　「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」における止水壁必要機能の抽出

「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」における止水壁工法の提案に先立ち、止水壁の必要機能を抽出し機能毎に分類する。

- ①地中に荷重を伝える
  - 圧入力に耐える
  - 引張力に耐える
  - 衝撃力に耐える
- ②構築空間を造る
  - 水を止める
  - 水圧に耐える
    - 切梁をなくす
  - 土圧に耐える
    - 切梁をなくす
- ③河積を確保する
  - 完全撤去する
  - 水中で撤去する
- ④転用する
  - 撤去作業を容易にする
  - 部材長を運搬しやすい長さにする
  - 耐久性が必要
  - 汎用性がある
  - 経済的である
  - 支保工材を少なくする

５．２　適応材料の選定

「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」における止水壁材料は、前項の必要機能を有するとともに以下の仮定条件を満足するものとする。

ケーソン外径 ---- ϕ＝１０，０００ ㎜

止水壁高 -------- H＝ ５～６ ｍ (Max＝７ｍ)

止水壁厚 -------- 必要に応じて決定する

鉛直継手 -------- なし

止水壁材料の選定は、適用可能な材料を抽出しなければならないが、まず従来の止水壁工法で使用されている材料の適否を判断する。

場所打ち無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリートは

・設置および撤去に長期間の工期を要する

・重量が大きく転用が難しい（無筋コンクリートは耐久性が劣る）
・上記に伴い、撤去時には取り壊す必要が生じる
・取り壊し時に多量な産業廃棄物が発生する

などの特性があり、「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」の特徴を有効に活用することができない。

次に従来採用頻度の多いU形鋼矢板は、施工性および汎用性に優れているが剛性が小さく止水性に多少の難点があるため、「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」の止水壁材料としては不向きである。

そこで他の鋼矢板形状を検討してみると、

・H型鋼矢板は曲線打設が不可能である
・直線鋼矢板は剛性が小さく圧入力を耐荷することができない
・Z型鋼矢板は市場性がなく、変形しやすい

といった面があるが、組合せ鋼矢板は、剛性が大きく曲線打設が可能であるため、止水壁材料として適用可能と判断される。

鋼製パネルとプレキャストコンクリートパネルは、撤去が容易であり転用性に優れているものの重量が大きいことや他形状への転用が難しいといった難点があり、「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」には不向きであると判断される。

以上、従来工法で採用されている材料を検討してみたが、適用可能と判断される材料は、鋼矢板の内の組合せ鋼矢板のみである。

そこで、新たな止水壁に適用可能な材料を「極力、既製品もしくは多少の改良を図り利用できる既製品」といった観点から選定してみると、以下の４種類の材料が抽出される。

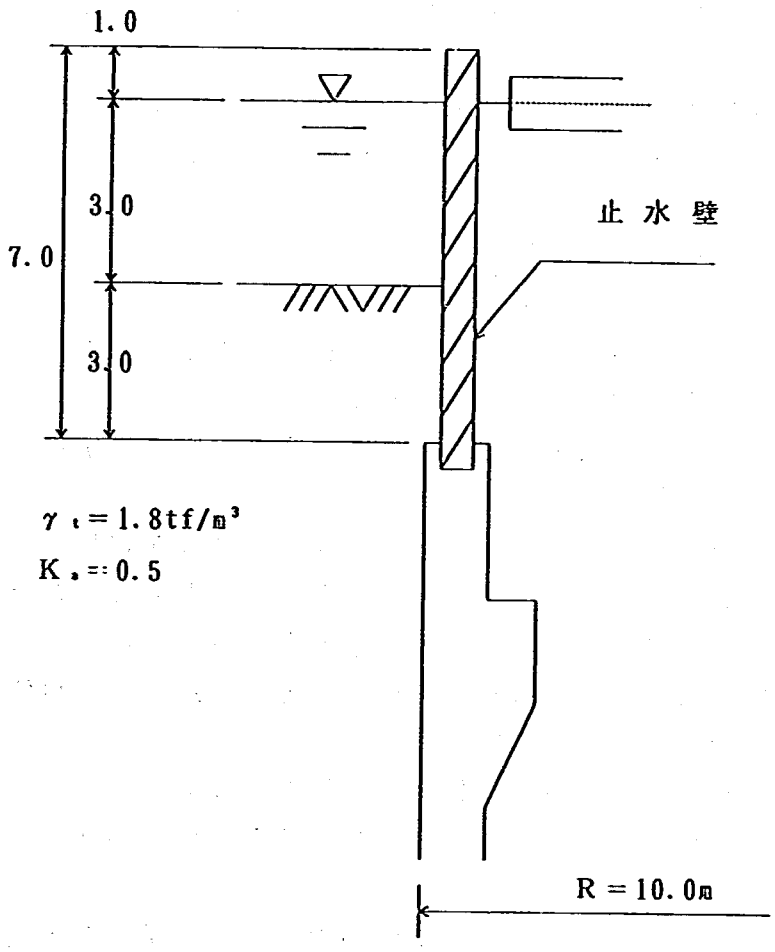
・鋼管矢板 ---------- 剛性が大きく設置撤去が容易である
・特殊鋼矢板（Kドメール） -- 剛性が大きく円形設置が可能である
・角型鋼管 ---------- 同上　ただし、継手設備の設置が必要
・ＰＣ壁体 ----------　　－〃－

よって、「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」における止水壁材料としては、組合せ鋼矢板を含めた５種類を選定する。

なお、当止水壁工法の提案では在来工法を否定するものではなく、「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」の効率アップをより図れる材料として今回選定するものである。

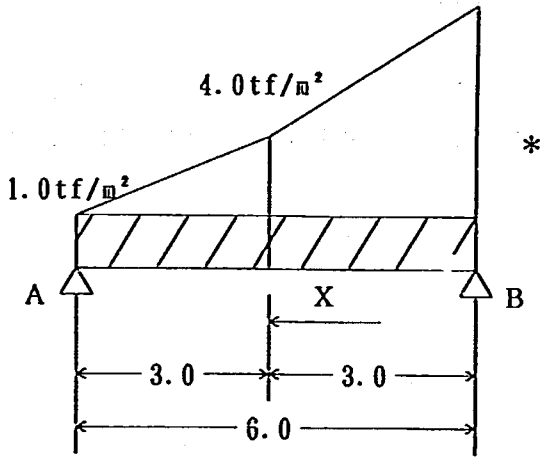
5．3　止水壁部材の規格仮定

止水壁部材は以下の条件を基に仮定する。



断面力の算定

1）曲げモーメントの算定　　波圧　水圧　　土圧
1.0+1.0X6.0+0.5X0.9X3.0＝8.35tf/m²



＊波圧および偏荷重として
1.0tf/m²を考慮

反力の算定

$R_A = 1/6.0[\ 8.35 \times 3.0 \times 1/2 \times 3.0 \times 1/3 + 4.0 \times 3.0 \times 1/2 \times 3.0 \times 2/3$
$+ 4.0 \times 3.0 \times 1/2 \times (3.0 + 3.0 \times 1/3) + 1.0 \times 3.0 \times 1/2 \times (3.0 + 3.0 \times 2/3)\ ]$
$= 1/6.0(\ 12.525 + 12.0 + 24.0 + 7.50\ )$
$= 9.34$ tf/m

$R_B = \Sigma N - R_A$
$= [(1.0+4.0) \times 1/2 \times 3.0 + (4.0+8.35) \times 1/2 \times 3.0] - 9.34$
$= (7.50 + 18.53) - 9.34 = 16.69$ tf/m

断面力の算定

$M_X = R_A \times (3.0+X) - [1.0 \times 3.0 \times 1/2 \times (X+3.0 \times 2/3) + 4.0 \times 3.0 \times 1/2 (X+3.0 \times 1/3)$
$+ 4.0 \times X^2 \times 1/2 + 1.45 \times X^2 \times 1/2 \times 1/3]$
$= (9.34X+28.02) - [(1.5X+3.0) + (6.0X+6.0) + 2.0X^2 + 0.242X^3]$
$= -0.242X^3 - 2.0X^2 + 1.84X + 19.02$

$M_X / dx = -0.726X^2 - 4.0X + 1.84 = S_X$

ここで $S_X = 0$ とおくと

$X = 0.427$m ----------M_{max}の発生位置

したがって、最大曲げモーメントは

$M_{max} = -0.242 \times (0.427)^3 - 2.0 \times (0.427)^2 + 1.84 \times 0.427 + 19.02$
$= -0.019 - 0.365 + 0.786 + 19.02$
$= 19.422$ tf·m

2）軸方向力の算定

＊圧入用ジャッキ反力を２m幅の止水壁で耐荷するものと仮定する。

圧入用ジャッキ力　$P = 300$ tf

圧入桁耐荷幅　$B = 2.0$ m

$N = P/B = 300 / 2.0$
$= 150.0$ tf/m

3）設計断面力

曲げモーメント	$M = 19.4$ tf·m/m
軸　方　向　力	$N = 150.0$ tf/m

4）部材の仮定

部材名	規格寸法	断面性能		応力度(kgf/cm²)			
		A(cm²/m)	Z(cm³/m)	σ_c	σ_b	$\Sigma\sigma$	σ_a
組合せ鋼矢板	FSPⅢ＋FSPⅢ	382.0	3,300	393	589	982	2,700
鋼管矢板	SKY400 φ500-9t ﾊﾟｲﾌﾟT型 @680	289.6	2,460	518	790	1,308	2,100
Kドメール	300SL CT-294X400	350.0	3,600	429	540	969	2,700
角型鋼管	STKC41P □500-12 t @600	(230.5) 384.0	(3,630) 6,050	391	321	712	1,970
PC壁体	□500-C種@600	(1,448.0) 2,413.0	(18,090) 30,150	σce ＋62	64	＋216 or＋26	＋250 or－40

ここに、$\sigma_c = N/A$ ： $\sigma_b = M/Z$ ： $\Sigma\sigma = \sigma_c + \sigma_b$ ： $\sigma_{ce} = 90$kgf/cm²

角型鋼管　$\sigma_a = 1.5 \times (1400 - 8.4(600/19.8 - 20)) \times 1.5 = 1970$ kgf/cm²

5．4　止水壁工法の比較検討

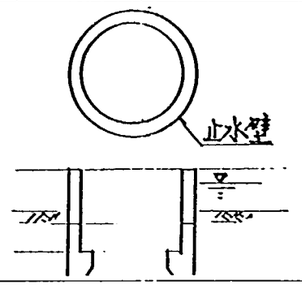
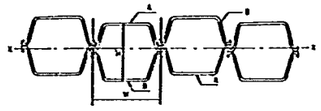
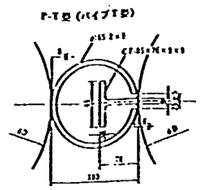
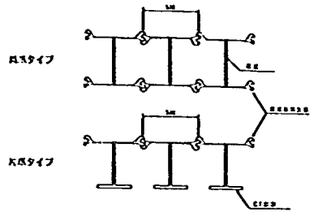
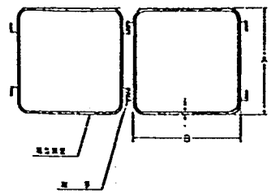
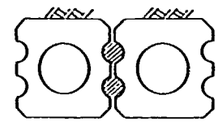
比較検討は、5．2 項で選定した5種類の適応材料を必要機能、ケーソン本体との取付け方法、一括撤去方法および止水性などの項目について行う。

なお、在来工法とも対比する必要があると考えられるので「場所打ち鉄筋コンクリート止水壁一括撤去工法」を比較対象とする。

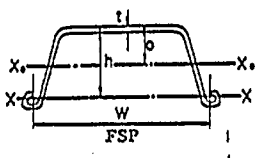
比較検討表を表－5．4．1に示す。

なお、参考に比較材料の規格および性能表を比較検討表の後に添付する。

表-6.4.1 止水壁工法比較検討表

比較検討項目		現場打ちRC	組合せ鋼矢板	鋼管矢板	Kドメール	角形鋼管	PC壁体
形状寸法	概略形状						
	形式	外径10.0m、内径9.2m	FSPⅢ＋FSPⅢ	φ500－9t@680	300ＳＬ　CT294×300	□500-12t@600	□500-Ｃ種@600
	必要数	ｺﾝｸﾘｰﾄ体積Ｖ＝84.5m3	７４枚　(R=9.4m)	４３本　(R=9.2m)	５９枚　(R=9.4m)	４８本　(R=9.2m)	４８本　(R=9.2m)
	1枚当り重量	－－－	0.84t/枚　(L=7.0m)	1.08t/本　(L=7.0m)	0.96t/枚　(L=7.0m)	1.63t/本　(L=7.0m)	2.66t/本　(L=7.0m)
	全体重量	210.0t	62.14 t	46.44 t	56.64 t	73.82 t	127.68 t
地中に荷重を伝える	圧入力	特に問題ない ◎	圧入力により使用部材を選択できる ○	特に問題ない ◎	場合により、支圧桁受部の補強が必要 △	特に問題なし ◎	同左 ◎
	引張り力	アンカー鋼棒にて耐荷する	アンカー鋼棒またはＰＣ鋼棒にて耐荷する	同左	同左	同左	同左
	衝撃力	特に問題ない ◎	特に問題ない ○	特に問題ない ◎	特に問題ない ○	特に問題ない ◎	特に問題ない ◎
作業空間を作る	水を止める	特に問題ない ◎	止水性に問題あり △	ｼﾞｮｲﾝﾄ止水材により止水は可能 ○	止水性に問題あり △	ｼﾞｮｲﾝﾄ止水材により止水は可能 ○	同左 ○
	水圧に耐える	特に問題ない ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎
	土圧に耐える	特に問題ない ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎
	支保工段数	必要としない	1段	1段	1段	1段	1段
河積を確保する	完全撤去	一括引上げ設備不可欠 ◎	特に問題ない ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎
	水中で撤去	不可能である ×	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎
転用する	耐久性	転用できない ×	セクション部が傷みやすい ○	ｼﾞｬﾝｸｼｮﾝ部の破損が予想される △	変形しやすい △	剛性が高く破損程度は低い ◎	取扱に注意が必要 △
	汎用性		径の変更に対応可能 ◎	Ｃ字ｼﾞｬﾝｸｼｮﾝ形状が良い ○	径の変更に対応可能 ◎	同左 ◎	大重量のため運搬・取扱に苦労 △
	経済性 ＊場所打ちRCを基準	1回使用 1.0	1回使用 1.12 2回使用 0.73	1回使用 0.97 2回使用 0.63	1回使用 0.93 2回使用 0.61	1回使用 1.05 2回使用 0.72	1回使用 2.24 2回使用 1.43
本体との接続方法		アンカーボルト接合	溝内建て込み、アンカーボルト接続またはＰＣ鋼棒緊結	同左	同左	同左	同左
リング支保工との取合い		間詰めｺﾝｸﾘｰﾄは不要 ◎	間詰めｺﾝｸﾘｰﾄは必要 △	同左	間詰めｺﾝｸﾘｰﾄは不要 ◎	同左 ◎	同左 ◎
止水対策		特に必要としない ◎	膨潤型止水材の塗布 △	ジョイント止水材で対応 ○	組合せ鋼矢板と同様 △	ジョイント止水材で対応 ○	同左 ○
撤去作業性		撤去設備が大掛かりとなる △	接続材撤去後、クレーンにて単部材毎に撤去する ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 ◎	同左 但し、大型クレーンが必要 ○
工期	設置工	２６日	１１日	１０日	５日	７日	１０日
	撤去工	１４日	４日	４日	４日	４日	４日
		計４０日	計１５日	計１４日	計 ９日	計１１日	計１４日
総合評価		機能的には問題がなく安全性の高い工法である。 しかし、経済性・工期面では、他の工法より劣る。 また、転用することができない。	Ｕ型鋼矢板の実績は多く、圧入時に別途の反力材を必要としたが、組合せ可能よりである。 しかし、止水性に多少問題があるため透水性の高い場所での採用は不向きである。	鋼管矢板井筒工法や山留壁などでの実績が多く信頼性は高い。 荷重により、部材選定は容易である。 取扱性およびｼﾞｬﾝｸｼｮﾝ部の耐久性に問題がある。また、止水壁全体の安定上、間詰めｺﾝｸﾘｰﾄが必要	経済性および工期的には比較工法のし中で最も優れている。 しかし、組合せ鋼矢板と同様に止水性に難点がある。 なお、形状がＴ字型のため、建て込み時に注意が必要である。	比較項目を総合的に判断すると最も優れた材料である。 また、部材選定は容易である。 しかし、施工実績がないのでジョイント部の止水対策に留意しなければならない。	最重量が大きく汎用性に問題がある。 また材質がコンクリートであるため、慎重な取扱が必要である。

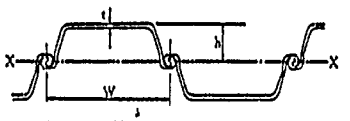
1) U形鋼矢板



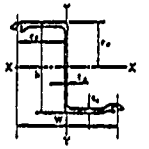
寸法および断面性能

種類	寸法 W mm	寸法 h mm	寸法 t mm	重量* 1枚当り kg/m	重量* 壁幅1m当り kg/m²	断面係数 1枚当り cm³	断面係数 壁幅1m当り cm³/m
FSP-I_A	400	85	8.0	35.5	88.8	45.21	113.0
FSP-II	400	100	10.5	48.0	120	61.18	153.0
FSP-II_A	400	120	9.2	43.2	108	55.01	137.5
FSP-III	400	125	13.0	60.0	150	76.42	191.0
FSP-III_A	400	150	13.1	58.4	146	74.40	186.0
FSP-IV	400	170	15.5	76.1	190	96.99	242.5
FSP-IV_A	400	185	16.1	74.0	185	94.21	235.1
FSP-V_L	500	200	24.3	105	210	133.8	267.6
FSP-VI_L	500	225	27.6	120	240	153.0	306.0

*備考：1. 壁幅1m当りの重量は $\left(1\text{枚当りの重量}\times\frac{1{,}000}{W\text{(有効幅)}}\right)$ の数値をJIS Z 8401 により丸めた数値です。
2. 1枚当りの表面積は両面についての数値です。
3. 壁幅1m当りの表面積は打込み後の片面についての数値です。
4. 1枚当りの断面係数とは組立てない個々の鋼矢板の中立軸 X_0–X_0 に関するものです。
5. 壁幅1m当りの断面係数とは組立てた場合の中立軸 X–X に関するものです。



表面積* 1枚当り m²/m	表面積* 壁幅1m当り m²/m²	重心位置 C cm	断面二次モーメント 1枚当り cm⁴	断面二次モーメント 壁幅1m当り cm⁴/m	回転半径 1枚当り cm	断面係数 1枚当り cm³	断面係数 壁幅1m当り cm³/m
1.21	1.51	3.45	598	4,500	3.64	88.0	529
1.33	1.66	4.04	1,240	8,740	4.50	152	874
1.34	1.68	4.72	1,460	10,600	5.15	160	880
1.44	1.80	4.90	2,220	16,800	5.39	223	1,340
1.44	1.80	5.84	2,790	22,800	6.12	250	1,520
1.61	2.01	6.45	4,670	38,600	6.94	362	2,270
1.57	1.96	7.45	5,300	41,600	7.50	400	2,250
1.75	1.75	6.94	7,960	63,000	7.71	520	3,150
1.83	1.83	8.09	11,400	86,000	8.63	680	3,620

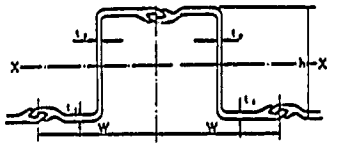


2) Z形鋼矢板

寸法および断面性能

種類	寸法 W mm	寸法 h mm	寸法 t_1 mm	寸法 t_2 mm	重量* 1枚当り kg/m	重量* 壁幅1m当り kg/m²	断面係数 1枚当り cm³	断面係数 壁幅1m当り cm³/m
FSP-Z_{25}	400	305	13.0	9.6	74.0	185	94.32	235.8
FSP-Z_{29}	400	344	14.2	10.4	84.5	211	107.7	269.2
FSP-Z_{35}	400	364	17.2	11.4	96.0	240	122.3	305.5
FSP-Z_{45}	400	367	21.9	13.2	116	290	148.2	370.5

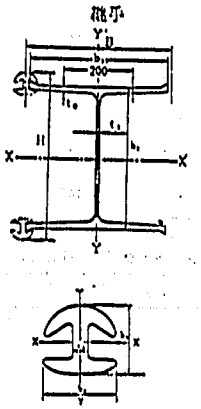
*備考：1. 壁幅1m当りの重量は $\left(1\text{枚当りの重量}\times\frac{1{,}000}{W\text{(有効幅)}}\right)$ の数値をJIS Z 8401 により丸めた数値です。
2. 1枚当りの表面積は両面についての数値です。
3. 壁幅1m当りの表面積は打込み後の片面についての数値です。



表面積* 1枚当り m²/m	表面積* 壁幅1m当り m²/m²	重心位置 C_1 cm	重心位置 C_2 cm	断面二次モーメント 1枚当り cm⁴	断面二次モーメント 壁幅1m当り cm⁴/m	回転半径 1枚当り cm	断面係数 1枚当り cm³	断面係数 壁幅1m当り cm³/m
1.61	2.01	15.3	20.0	15,300	38,300	12.74	1,000	2,510
1.70	2.13	17.2	19.5	22,000	55,000	14.26	1,280	3,200
1.72	2.16	18.2	19.5	27,700	69,200	15.05	1,520	3,800
1.76	2.20	18.4	20.0	33,400	83,500	15.00	1,820	4,550

3) H形鋼矢板

本体 (YSP B_{14})

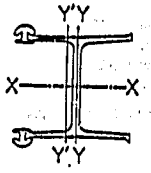


寸法および重量

	寸法 mm						断面積 1枚当り cm²	重量 1枚当り kg/m
	H	B	b_1	h_1	t_1	t_2		
本体(標準タイプ)	486	420	403	410	10	13.5	165.0	130

	寸法 mm			断面積 1本当り cm²	重量 1本当り kg/m
	b_2	h_2	t_2		
継手	67	64	14	22.99	18.0

単体



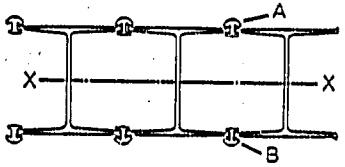
断面性能

断面積 cm²	重量 kg/m	断面二次モーメント		断面係数	
		I_x cm⁴	I_y cm⁴	Z_x cm³	Z_y cm³
211.0	166	75,700	33,000	3,120	1,340

注：継手を使用した場合の重量は本体と同長の継手を使用した数値です。

両側に継手を使用した場合

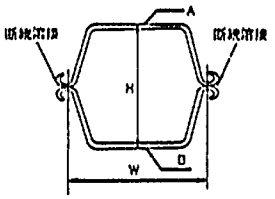
鉄幅1m当り



断面積 cm²/m	重量 kg/m²	断面二次モーメント I_x cm⁴/m	断面係数 Z_x cm³/m	重量 kg/m² B 継手長/全長					
				100%	90%	80%	70%	60%	50%
502.4	394	180,000	7,420	394	391	387	382	378	374

注：鉄幅1m当りの重量は$\left(1\text{枚当りの重量}\times\frac{1,000}{W(\text{有効幅})}\right)$の数値を JIS Z 8401 により丸めた数値です。

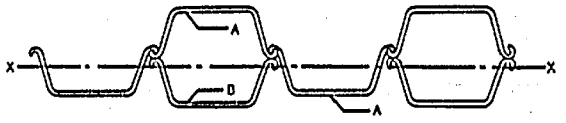
4) 組合せ鋼矢板



組合せ鋼矢板（素材）

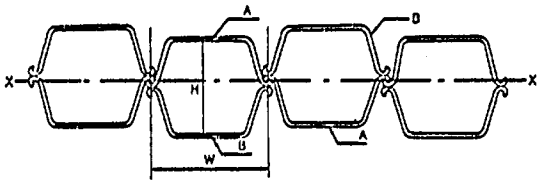
型式 A	型式 B	寸法 H mm	寸法 W mm	断面積 cm²/m	断面二次モーメント I cm⁴/m	断面係数 Z cm³/m	断面一次モーメント C cm³/m
IV_A	IV_A	414	400	188.4	43,300	2,090	1,240
V_L	V_L	445	500	267.6	80,500	3,620	2,050
VI_L	V_L	471	500	286.8	92,500	3,850	2,320
VI_L	VI_L	497	500	306.0	108,000	4,350	2,560
IV	IV	387	400	194.0	41,600	2,150	1,250

備考：1. 断面一次モーメントは，溶接長を決める時に必要な数値で，中立軸に関して片側の鋼矢板断面の中立軸に関する断面一次モーメントです。
2. 組合せ鋼矢板の型式（A—B）は上記以外に10種類（I_A—I_A，II_A—I_A，II_A—II_A，III_A—II_A，III_A—III_A，IV_A—III_A，II—II，III—II，III—III，IV—III）の組合せが可能です。



組合せ鋼矢板（1枚おき筒形）

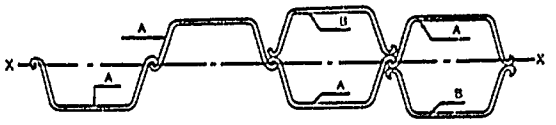
型式 A	型式 B	断面積 cm²/m	断面二次モーメント I cm⁴/m	断面係数 Z cm³/m	重量 kg/m² B鋼矢板長/A鋼矢板長 % 100	90	80	70	60	50
V_L	V_L	401.4	99,000	3,810	315	305	294	284	273	263
V_L	VI_L	420.6	110,000	4,110	330	318	306	294	282	260
VI_L	VI_L	459.0	134,000	4,640	360	348	336	324	312	300



組合せ鋼矢板（企筒形）

型式 A	型式 B	寸法 H mm	寸法 W mm	断面積 cm²/m	断面二次モーメント I cm⁴/m	断面係数 Z cm³/m	断面一次モーメント C cm³/m	重量 kg/m² B鋼矢板長/A鋼矢板長 % 100	90	80	70	60	50
IV_A	IV_A	414	400	471.0	108,000	5,220	3,100	370	352	333	314	296	278
V_L	V_L	445	500	535.2	161,000	7,240	4,100	420	399	378	357	336	315
VI_L	V_L	471	500	573.6	185,000	7,700	4,640	450	429	408	387	366	345
VI_L	VI_L	497	500	612.0	216,000	8,700	5,120	480	456	432	408	384	360
IV	IV	387	400	484.0	104,000	5,380	3,120	380	361	342	323	304	285

備考：1. 断面一次モーメントは，溶接長を決める時に必要な数値で，中立軸に関して片側の鋼矢板断面の中立軸に関する断面一次モーメントです。
2. 組合せ鋼矢板の型式（A—B）は上記以外に10種類（I_A—I_A，II_A—I_A，II_A—II_A，III_A—II_A，III_A—III_A，IV_A—III_A，II—II，III—II，III—III，IV—III）の組合せが可能です。

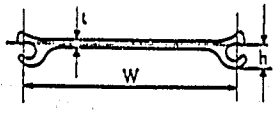


組合せ鋼矢板（2枚おき筒形）

型式 A, B	断面積 cm²/m	断面二次モーメント I cm⁴/m	断面係数 Z cm³/m	重量 kg/m² B鋼矢板長/A鋼矢板長 % 100	90	80	70	60	50
IV	363.7	71,300	3,630	285	276	266	257	247	238
IV_A	353.3	74,800	3,740	277	268	259	250	240	231
V_L	401.4	112,000	5,200	315	305	294	284	273	263
VI_L	459.0	151,000	6,260	360	348	336	324	312	300

備考：組合せ鋼矢板の型式（A，B）は上記以外に5種類（I_A，II，II_A，III，III_A）の組合せが可能です。

5) 直線形鋼矢板



寸法および重量

種類	寸法			爪数*		断面積		表面積*	
	W mm	h mm	t mm	1枚当り kg/m	壁幅1m当り kg/m²	1枚当り cm²	壁幅1m当り cm²/m	1枚当り m²/m	壁幅1m当り m²/m²
YSP-F	400	44.5	9.5	54.2	136.0	69.07	172.7	1.16	1.45
YSP-FA	400	44.5	12.7	60.8	152.0	77.50	193.8	1.16	1.45
YSP-FX	400	47.0	12.7	67.2	168.0	85.66	214.2	1.19	1.49
YSP-FL	500	44.5	9.5	61.7	123.4	78.57	157.1	1.39	1.39
YSP-FXL	500	47.0	12.7	77.2	154.4	98.36	196.7	1.41	1.41

*備考：1. 壁幅1m当りの爪数は $\left(1\text{枚当りの爪数}\times\frac{1,000}{W\text{(有効幅)}}\right)$ の数値をJIS Z 8401により丸めた数値です。
2. 1枚当りの表面積は両面についての数値です。
3. 壁幅1m当りの表面積は打込み後の片面についての数値です。

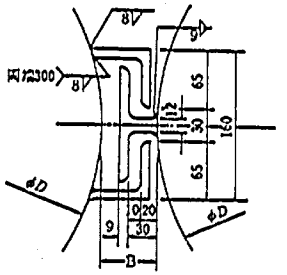
断面性能

種類	断面二次モーメント		回転半径	断面係数	
	1枚当り cm⁴	壁幅1m当り cm⁴/m	1枚当り cm	1枚当り cm³	壁幅1m当り cm³/m
YSP-F	190	534	1.66	47.8	120
YSP-FA	196	520	1.59	48.3	117
YSP-FX	224	666	1.62	56.1	142
YSP-FL	184	396	1.53	45.7	89
YSP-FXL	245	570	1.58	60.3	121

6) 鋼管矢板

鋼管矢板の継手

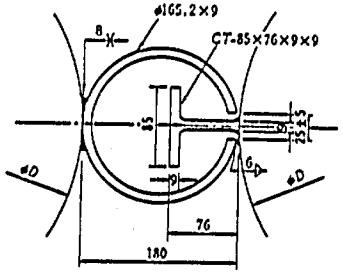
1) L-T型（二枚挟型）



継手断面積：35.71 cm²
継手単重：28.0 kg/m
継手有効間隔：B mm

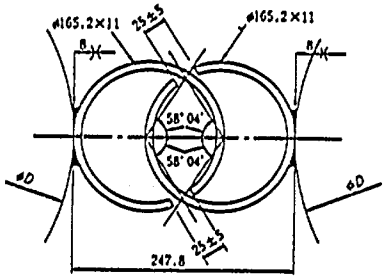
$$B=\left\{\frac{D}{2}+76+\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2-80^2}\right\}-D$$

2) P-T型（パイプT型）



継手断面積：58.11 cm²
継手単重：45.7 kg/m
継手有効間隔：180 mm

3) P-P型（パイプ型）

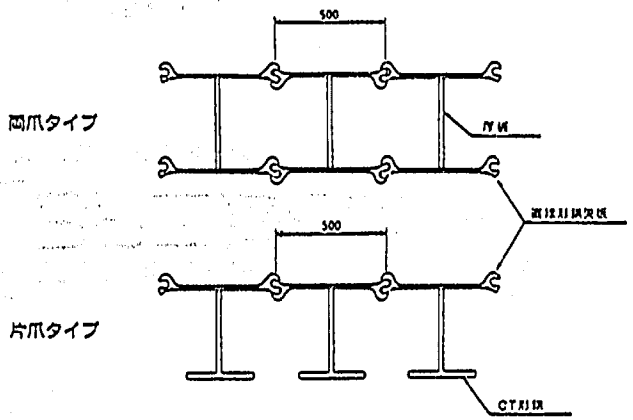


継手断面積：106.50 cm²
継手単重：83.6 kg/m
継手有効間隔：247.8 mm

H型鋼矢板（Kドメール）

構造

Kドメールは、直線形鋼矢板を主部材として、厚板やCT形鋼を組み合わせて、溶接加工したものです。
下に示すように両爪タイプと片爪タイプがあります。



材質

Kドメールに使用する直線形鋼矢板は、JIS A 5528の規格に準じて製造しますが、化学成分および機械的性質は、厚板、CT形鋼を含めて、下記に示す川鉄規格KD400またはKD490によります。

なお、KD規格の成分系は、溶接性を考慮し、JIS G 3106の規格を満足するよう設計したものです。

化学成分

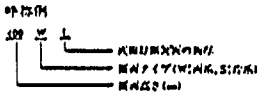
規格記号 ＼ 成分	C	Si	Mn	P	S
KD400	0.23 以下	–	–	0.035 以下	0.035 以下
KD490	0.20 以下	0.55 以下	1.50 以下	0.035 以下	0.035 以下

機械的性質

規格記号	引張試験			
	降伏点 (kgf/mm²) [N/mm²]	引張強さ (kgf/mm²) [N/mm²]	伸び	
			試験片	%
KD400	25以上 [245以上]	41～52 [402～510]	1A号	18以上
KD490	33以上 [324以上]	50～62 [490～608]	1A号	17以上

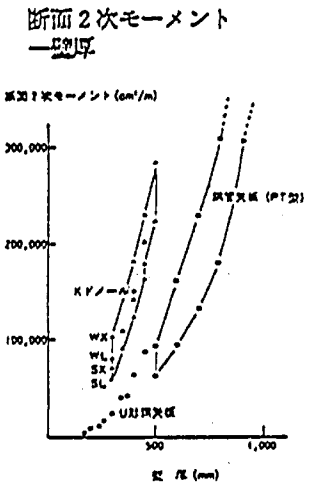
[ ] は国際単位系(SI)による。

標準断面性能



1 両爪タイプ

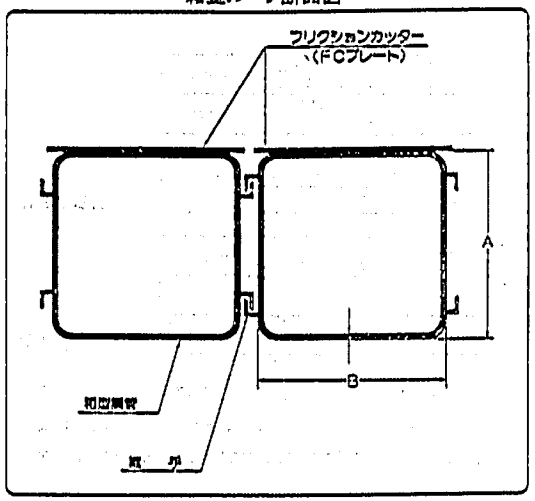
呼び名	単位質量 (kN/m²) [kN/m²] (mm)	プレート寸法 (mm) H	t	断面積 (cm²/本)	質量 (kg/m/本)	断面2次モーメント (cm⁴/m)	断面係数 (cm³/m)
300WL	9.5	300	9	184	144	80,100	4,040
			12	193	152	81,400	4,110
350WL	9.5	350	9	189	148	108,700	4,870
			12	199	156	110,900	4,970
400WL	9.5	400	9	193	152	147,100	5,720
			12	205	161	145,300	5,650
450WL	9.5	450	9	198	155	160,300	6,600
			12	211	166	164,900	6,770
500WL	9.5	500	9	202	159	223,500	7,490
			12	217	170	229,700	7,700
300WX	12.7	300	9	224	176	101,400	4,970
			12	233	183	102,700	5,040
350WX	12.7	350	9	228	179	137,000	5,980
			12	239	187	139,100	6,080
400WX	12.7	400	9	233	183	178,300	7,020
			12	245	192	181,500	7,150
450WX	12.7	450	9	237	186	225,400	8,060
			12	251	197	229,900	8,250
500WX	12.7	500	9	242	190	278,400	9,160
			12	257	202	284,700	9,370



2 片爪タイプ

呼び名	単位質量 (kN/m²) [kN/m²] (mm)	CT形鋼寸法 (mm) H	B	t1	t2	断面積 (cm²/本)	質量 (kg/m/本)	断面2次モーメント (cm⁴/m)	断面係数 (cm³/m)
2505L	9.5	246	199	9	14	179	101	29,300	1,530
3005L	9.5	291	300	12	17	166	130	57,600	2,760
		294	300	12	20	175	137	62,800	3,600
3505L	9.5	346	300	13	20	184	145	69,100	4,480
		350	300	13	24	196	154	97,900	4,640
4005L	9.5	396	300	14	22	200	157	124,000	5,440
		400	300	14	26	212	167	135,000	5,810
4505L	9.5	445	299	15	23	214	168	163,000	6,110
		450	300	16	28	232	183	181,000	6,680
2505X	12.7	248	199	9	14	169	117	31,800	1,690
3005X	12.7	291	300	12	17	186	146	62,700	2,390
		294	300	12	20	195	153	69,800	3,840
3505X	12.7	346	300	13	20	204	160	98,800	4,680
		350	300	13	24	216	170	109,000	5,360
4005X	12.7	396	300	14	22	220	173	138,000	5,900
		400	300	14	26	232	182	150,000	6,570
4505X	12.7	445	299	15	23	234	184	181,000	7,030
		450	300	16	28	253	199	201,000	7,800

箱型ルーフ断面図



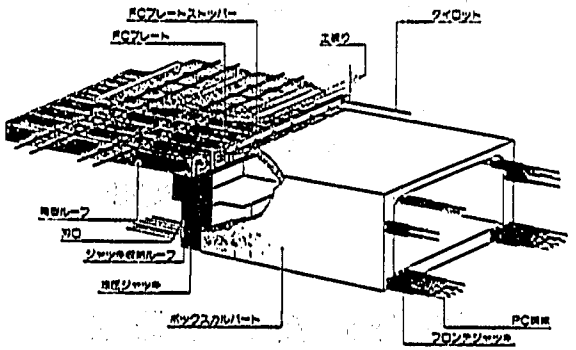
箱型ルーフ寸法表(参考)

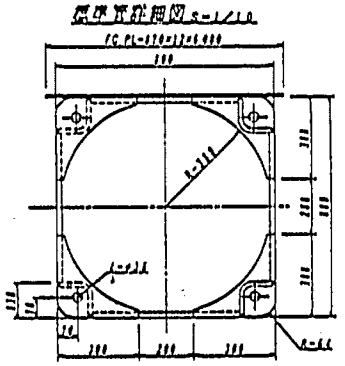
呼び	断面 (mm)×(mm)	長さ (mm)	重量 (kN/本)
標準管	800×800	6,000	3,000
調整管	1,000×800	6,000	3,000
	950×800		
	900×800		
	850×800		
	700×800		
	600×800		
油圧ジャッキ収納管	1,000×800	1,200	
	950×800		
	900×800		
	850×800		
	800×800		
	700×800		
	600×800		

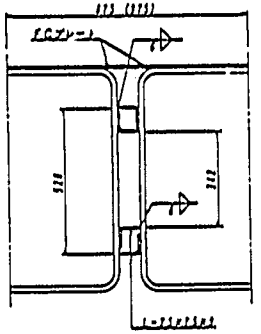
BOX ROOF METHOD

【BR工法とは——】

▶BR工法……けん引タイプ



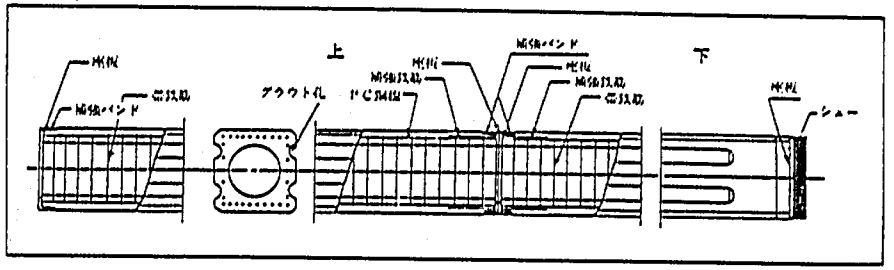




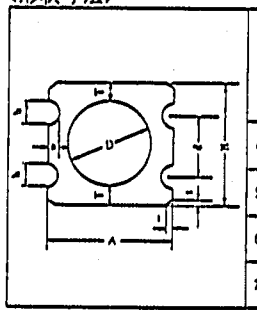
標準規格

■コンクリートの設計圧縮強度は、σck＝500kg/cm²ですが、設計条件に合わせてσck＝850kg/cm²まで設計できます。

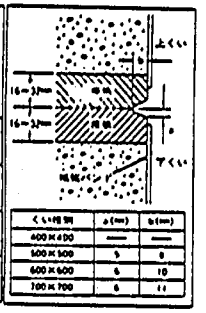
<標準構造>



<形状寸法>



大きさ A×B (cm)	厚さ T (cm)	内径 D (cm)	グラウト孔の大きさ a (cm)	グラウト孔 b (cm)	グラウト孔の中心間隔 d (cm)	ハンチの大きさ t (cm)
400×400	75	250	30	77	200	25
500×500	80	340	40	100	250	30
600×600	100	400	40	100	290	35
700×700	110	480	40	100	350	35



くい種別	a (cm)	b (cm)
400×400	——	——
500×500	5	8
600×600	6	10
700×700	6	11

<標準種別性能表>

大きさ A×B (cm)	種	基準曲げモーメント ひびわれ Mcr (tf·m)	基準曲げモーメント 終局 Mu (tf·m)	PC鋼材 径 (mm)	PC鋼材 本数 (本)	PC鋼材 断面積 Ap (cm²)	コンクリートの断面積 Ac (cm²)	コンクリートの換算断面積 Ae (cm²)	コンクリートの断面二次モーメント Ic (cm⁴)	換算断面の断面二次モーメント Ie (cm⁴)	換算断面の断面係数 Ze (cm³)	設計曲げモーメント 常時 Mo (tf·m)	設計曲げモーメント 地震時
400×400	A	8.5	12.5	7	12	4.52	1,024	1,047	182,000	187,000	9,395	3.8	5.6
	B	12.0	21.5	7	24	9.24		1,070		189,800	9,490	7.1	10.0
	C	13.5	26.5	9	20	12.72		1,088		194,800	9,740	8.8	12.7
500×500	A	15.5	21.0	7	16	6.16	1,448	1,479	424,400	437,000	17,480	7.0	10.5
	B	22.5	41.0	9	22	14.00		1,518		450,300	18,010	13.5	18.9
	C	25.5	48.5	9	28	17.81		1,537		452,300	18,090	16.3	23.5
600×600	A	28.0	44.5	7	28	10.78	2,193	2,247	946,200	937,800	31,260	12.5	18.8
	B	40.0	76.0	9	34	21.03		2,301		964,800	32,160	24.1	33.8
	C	45.5	89.5	9	42	26.72		2,327		978,200	32,610	29.3	42.4
700×700	A	44.5	67.5	7	36	13.85	2,910	3,009	1,673,000	1,735,000	49,570	19.8	29.7
	B	64.0	122.0	9	46	29.21		3,096		1,792,000	51,200	38.4	53.8
	C	72.0	137.5	9	54	34.35		3,112		1,804,000	51,540	46.4	67.0

●M10：長さ×重量は、400"は12.270kg/m、500"は12.360kg/m、600"は12.570kg/m、700"は12.760kg/mです。
●12.5Bプレストレス鋼材は、A種は840kN/cm²、B種は735kN/cm²、C種は950kN/cm²です。くい長は、700"は12～13m、以外は12～15mです。
●400"の12.5Bにあたっては、納期等についてご相談下さい。

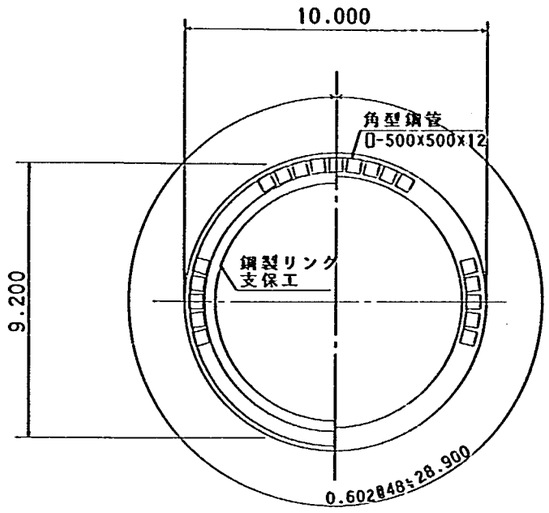
５．５　「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」における止水壁工法の提案

比較検討の結果、止水壁材料は「角型鋼管」が最も「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」に適合すると判断された。

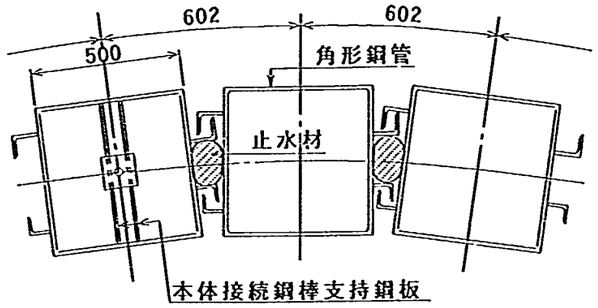
したがって、「自動化オープンケーソン工法(SOCS)」における止水壁工法としては、「鉛直継手を装備した角型鋼管止水壁工法」を提案する。

概要図を図－５．５．１に示す。

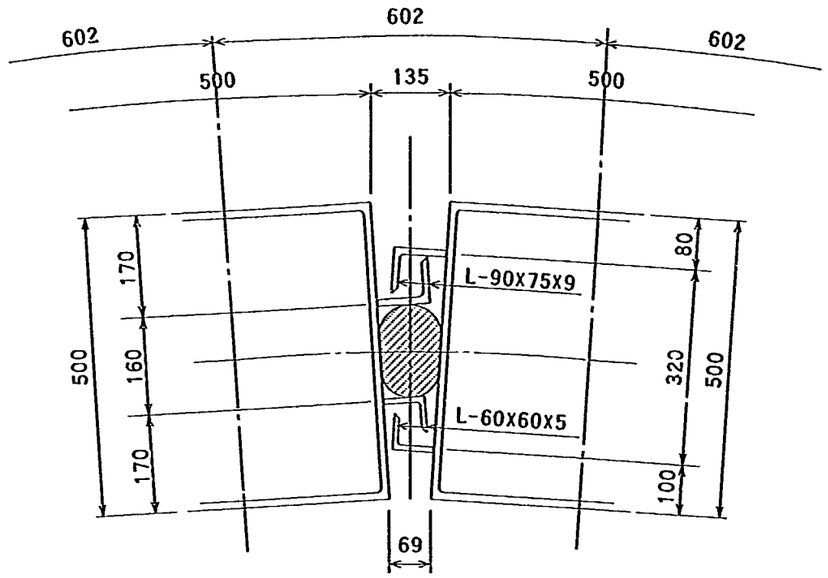
平　面　図



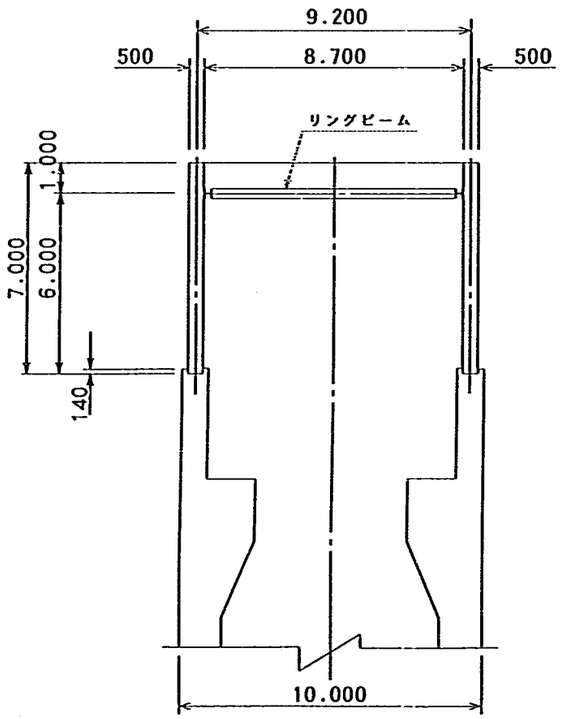
取付詳細図



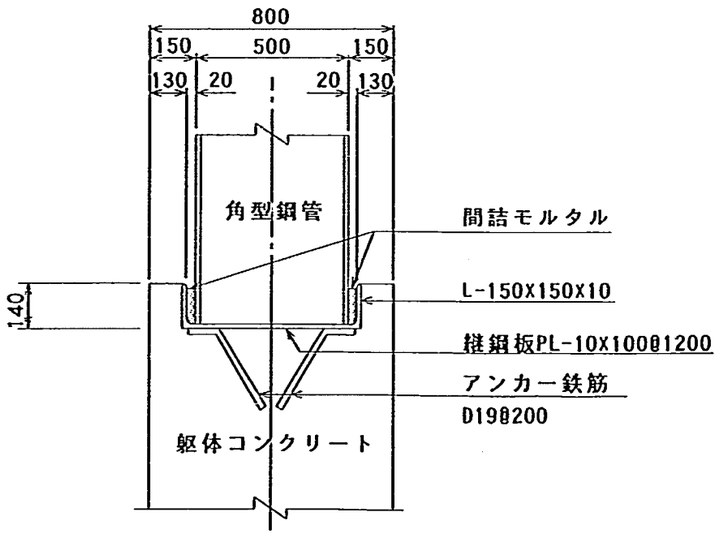
ジョイント部詳細図



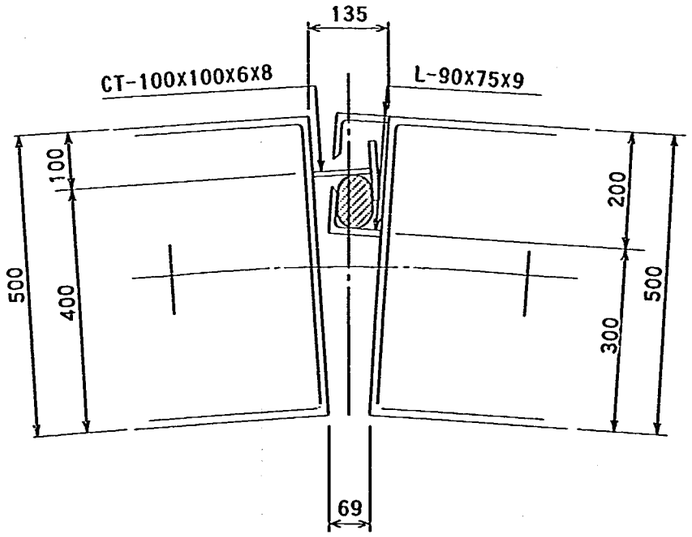
側　面　図



本体取付部詳細



ＣＴジョイント案



図－6.5.1　鉛直継手を装備した角型鋼管止水壁工法

第６章 資料集

６．１　文献集

ケーソン工事に用いられている止水壁の設計、施工に関連する文献を、既往の文献、資料等から抽出した。

文献調査は専門誌を中心に、官公出版物、一般刊行誌について行った。今回の調査では、特にプレキャスト部材を用いた事例の収集が大きな目的であったが、得られた文献は少なかった。

調査は日本科学技術情報センター（JICST）のオンライン検索システム（JOIS）を用いて、関連する文献の検索を行った。また、専門誌および各社社内技術報などに掲載されている文献を目次等で検索し、関係のあるものについて確認、抽出を行った。

【ＪＯＩＳ検索】　検 索 日：平成５年８月１２日、１３日
検索ﾃﾞｰﾀ数：６６件（この内有効データは３件）

【文献の検索】　検索期間：平成５年８月～１０月
検索方法：雑誌等の目次と内容の確認
抽 出 数：１５件

表－７．１．１に文献調査の一覧表を示す。

表中の「検討項目、参考度」では、材質、本体との接続方法、撤去方法について、各文献の内容に関して参考となる度合い（参考度）のランク付けを行った。

表－6．1．1 オープンケーソン工法の止水壁に関する文献調査一覧表

文献No	文献名	出典	巻(年次)号	工事名	発注者	施工者	検討項目・参考度 材質 ①②③④	本体との接続方法 ①②③④	撤去方法 ①②③④	概要
1	[工事報告]阿武隈橋架替工事	橋梁	1980 2	阿武隈橋下部工事	建設省東北地建		△	△		
2	[工事報告]川口橋下部工の施工と上部工の設計	橋梁	1980 6	川口橋下部工事	日本道路公団	㈱白石	△			
3	[施工報告]中国自動車道太田川橋(下部工)の設計・施工	橋梁	1981 8	太田川橋下部工事	日本道路公団	大旺・伏光JV	△			
4	[施工報告]一般国道23号豊川橋の設計と施工	橋梁	1982 4		日本道路公団		△			
5	[施工報告]新吉野川大橋下部(第1)工事と今後の施工計画	橋梁	1983 4	新吉野川大橋下部工事その1工事	建設省（徳島）	㈱熊谷組	△		◎	
6	千歳大橋の計画・設計・施工	橋梁	1984 10	千歳大橋下部工	新潟市		△	△	△	
7	[施工報告]新上武大橋の計画と施工（状況）	橋梁	1987 9	新上武大橋下部工第1期工事	建設省関東地建		△	◎	◎	
8	オープンケーソン基礎の施工報告	鴻池技術社内報	1981 9	今尾橋下部工事	岐阜県	㈱鴻池組	○	○	◎	
9	上賤母橋ケーソン基礎の施工について	?			建設省（飯田）	竹中土木㈱	○	○		
10	(報文)新田原井堰の施工について	農業土木学会誌	1986 8		岡山県		△			
11	首都高速道路小菅インターチェンジの大型ケーソン工事概要	建設の機械化	1980 12		首都高速道路公団	大成・若築JV, 熊谷組				
12	[工事報告]重要港湾広島港海田大橋下部工事	土木技術	1987 9	重要港湾広島港改修事業	広島県		○	○	◎	
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										

＊ 検討項目欄の数字および記号は、次の事項を表わす。

材　　質【1. ﾌﾟﾚｷｬｽﾄRC　2. 現場打ちRC　3. 鋼矢板　4. その他】

本体との接続【1. アンカー　2. 鋼　材　3. 箱　抜　4. その他】

撤 去 方 法【1. 分割引上げ　2. 一括引上げ　3. 発　破　4. その他】

◎ 非常に参考になる記述がある。　○ 参考になる記述がある。　△ 記述がある。　無印 記述がない。

6．2　止水壁に関する特許

(1)調査方法

調査は（財）日本特許情報機構（Ｊapio）の検索システム（ＰＡＴＯＬＩＳ）を用いて検索を行い、その中から関連する特許について確認・抽出（特許公報）を行った。

【ＰＡＴＯＬＩＳ検索】

検 索 日：平成５年７月１３日

検索ﾃﾞｰﾀ数：特　許２２件（この内有効データは９件）

実　用　１件

(2)調査結果

表－７．２．１ に特許・実用新案調査結果の一覧表を示す。

表－６．２．１　オープンケーソン工法の止水壁に関する特許・実用新案調査一覧表

特許 実用新案 No.	出願人	出願番号 出願日	公開番号 公開日	公告番号 公告日	名称	検討項目・参考度 材質 ①	②	③	④	本体との接続方法 ①	②	③	撤去方法 ①	②	③	④	⑤	その他
P１	大成建設㈱	昭45-115703 1970.12.23		昭50-16886 1975.6.17	ケーソン基礎止水壁の施工法	○					◎			◎				
P２	住友建設㈱	昭46-13234 1972.3.10	昭47-31414 1972.11.11		プレキャストブロックによる ウェル又はケーソンの止水壁の構築工法	◎					◎		◎					
P３	ヤマハ化工建設㈱	昭55-96822 1980.7.17	昭57-24727 1982.2.9	昭59-11013 1984.3.13	土留め工法													
P４	東亜建設工業㈱	昭62-206228 1987.8.21	昭64-52922 1989.3.1		ケーソンの止水壁の構築及び再使用方法		○					○	○					
P５	上五島石油備蓄㈱、鹿島建設㈱	昭62-242462 1987.9.29	昭64-90321 1989.4.6	平4-78764 1992.12.14	ケーソン等上部工施工時の支保工兼越波防止壁				△			△						
P６	㈱大林組	昭63-93595 1988.4.18	平1-268920 1989.10.26	平5-5971 1993.1.25	ケーソン工法	◎				◎			◎					
P７	㈱フジタ	平2-72897 1990.3.22	平3-271420 1991.12.3		ケーソン止水壁の撤去方法		◎					◎		◎				
P８	鹿島建設㈱	平-3-138343 1991.5.13	平4-336123 1992.11.24		ケーソン用止水壁	◎					◎		◎					
U１	住友建設㈱	昭48-109400 1973.9.18	昭50-56004 1975.5.27	昭53-10087 1978.11.30	ウェルまたはケーソンにおける止水壁の組立て装置	◎					◎							

特許・実用新案No.の頭文字 Pは特許、Uは実用新案を表す。

検討項目欄の数字および記号は、次の事項を表わす。
※材　　質【1. ﾌﾟﾚｷｬｽﾄRC　2. 現場打ちRC　3. 鋼矢板　4. その他　　】
※本体との接続【1. アンカー　2. 鋼　棒　3. その他　　】
※撤 去 方 法【1. 分割引上げ　2. 一括引上げ　3. 発　破　4. 鉄ﾌﾞﾚｰｶｰ等 5. その他】
◎ 非常に参考になる記述がある。　○ 参考になる記述がある。　△ 記述がある。　無印 記述がない。

資料－Ⅴ

その他の研究報告書

その他の研究報告書

本共同研究において開発された自動化オープンケーソン工法(SOCS)に関する研究報告書は、「自動化オープンケーソン工法設計・施工マニュアル(案)」、「自動化オープンケーソン工法継手構造に関する要素実験報告書」、「自動化オープンケーソン工法自動沈下管理システム技術資料」および「止水壁調査研究報告書」の他に整備した研究報告書については、本報告書内にその目次のみを掲載する。詳細については各研究報告書を参照されたい。

1．自動化オープンケーソン工法実証施工実験工事報告書

平成5年度にガイドレール式バックホウ掘削機を使用して、実大規模の実証施工実験（外径φ9.0m）を実施した。本報告書は、工事概要、工事報告、施工管理結果および試験確認結果についてとりまとめたものである。

ここに報告書の目次構成を以下に示す。

自動化オープンケーソン工法実証施工実験工事報告書目次

1．実証施工実験工事概要
1.1　概　要
1.2　実験概要
1.3　実験工事数量
1.4　実験工事工程
1.5　実験体制

2．工事報告
2.1　仮　設　工
2.2　現場打ち躯体構築工
2.3　プレキャスト躯体構築工
2.4　沈　設　工
2.5　底版コンクリート工
2.6　附　帯　工
2.7　今後の課題

3．施工管理結果
3.1　出来形管理
3.2　写真管理
3.3　材料・機材管理
3.4　工程管理
3.5　安全管理

4．試験確認結果
4.1　自動掘削揚土システム
4.2　自動沈下管理システム
4.3　プレキャスト躯体システム

5．ま　と　め

＜資　料　編＞
資－1　実証施工実験工事作業記録
資－2　実証施工実験工事記録・成果
資－3　実証施工実験工事写真記録

2．自動化オープンケーソン工法積算マニュアル(案)

実工事に適用するにあたっては技術資料としての設計・施工についてのマニュアルとともに、このマニュアルに基づいた積算マニュアルが必要となる。そこで平成5年度にガイドレール式バックホウ掘削機を使用して、実大規模のオープンケーソン（外径φ9.0m）を沈設させた。この実証施工実験の際に各種のデータを収集・分析するとともに、建設省土木工事積算基準等の積算基準を調査して、自動化オープンケーソン工法を構成する各種の工種の積算事例等を参考にして「自動化オープンケーソン工法(SOCS)積算マニュアル(案)」を作成した。

ここに積算マニュアル(案)の目次構成を以下に示す。

自動化オープンケーソン工法積算マニュアル(案)目次

Ⅰ 共通編
1章　自動化オープンケーソン工法の概要
1．1　一　　般
1．2　適用の範囲
1．3　用語の定義
1．4　一般的な施工手順

2章　調　　査
2．1　調査の基本
2．2　調査の種類

3章　使用材料
3．1　鋼　　材
3．2　コンクリート
3．3　継 手 材
3．4　プレキャストブロック
3．5　付属材料
3．6　中 詰 材

Ⅳ 積算編
1章　基本事項
1．1　適用範囲と適用条件
1．2　積算の構成
1．3　作業フロー
1．4　工期の設定
付・　「SOCS」施工における要特別教育終了作業一覧表

2章　工事費の算出
2．1　工事費の算出

3章　直接工事費の算出
3. 1　自動揚土機レール工
3. 2　バックホウ型自動水中掘削機レール工
3. 3　グラウンドアンカー工
3. 4　自動揚土機及び自動水中掘削機組立・運転調整・解体工
3. 5　ケーソン据付地盤拵工
3. 6　ケーソン刃口金物工
3. 7　現場打ち鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ造躯体構築工
3. 8　ﾌﾟﾚｷｬｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ造躯体構築工
3. 9　掘削圧入沈下工
3.10　残土・泥土処理工
3.11　止水壁工
3.12　周面摩擦低減工
3.13　周面グラウト工
3.14　底版水中コンクリート工
3.15　躯体内濁水揚排水処理工
3.16　自動沈設計測機器設置・調整・盛替・撤去工
3.17　ケーソン内注水工
3.18　建設機械等損料の積算
3.19　建設機械の消耗部品の損耗費及び補修費について
3.20　建設機械等賃料積算基準
3.21　建設用仮設材損料算定基準
3.22　建設用仮設材賃料積算基準

4章　間接工事費の算出
4. 1　共通仮設費の算出
4. 2　現場管理費の算出
4. 3　一般管理費の算出

橋梁基礎の施工における自動化技術の開発に関する共同研究報告書
－オープンケーソン工法の自動化技術の開発－
研究開発報告書

土木研究所共同研究報告書第164号
平成９年２月　（１９９７）

建設省土木研究所
（財）先端建設技術センター

要旨

本報告書は，建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」のうち，「橋梁基礎の施工における自動化技術の開発（オープンケーソン工法）」に関して，建設省土木研究所，財団法人先端建設技術センターおよび民間13社で共同研究を実施しその成果をとりまとめたものである。

本研究は，建設事業の高品質化，効率化，労働環境の向上を図る方策として，橋梁基礎構造物（オープンケーソン工法）の施工方法の省力化・自動化を実現させるために，プレハブ化基礎躯体の研究開発，掘削・揚土機械等の研究開発，および施工方法の研究開発を行った。その成果として各研究開発チーム毎に報告書を作成していたが，ここではそれらの報告書を取りまとめたものである。

キーワード：橋梁基礎，オープンケーソン，プレキャスト躯体，自動掘削・揚土，自動沈設，施工技術

郵便はがき

切手をはって下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所
構造橋梁部基礎研究室　行

No. 3

No. 3

配布先氏名　　○

配布先住所

土木研究所共同研究報告書第164号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印

共同研究報告書第164号

橋梁基礎の施工における自動化技術の開発に
関する共同研究報告書
オープンケーソン工法の自動化技術の開発
研究開発報告書