共同研究報告書
整理番号 第274号

シールド工事の合理化に関する
共同研究報告書

平成13年３月

国土交通省土木研究所
下水道研究室　トンネル研究室　施工研究室
東京都下水道局
首都高速道路公団

Copyright©(2001) by P.W.R.I.
All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, 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。

建設省は、平成13年1月6日付けで国土交通省に再編

共同研究報告書
第274号2001年３月

シールド工事の合理化に関する共同研究報告書

国土交通省土木研究所	下水道部下水道研究室室長	井　上　弥九郎
	道路部トンネル研究室室長	真　下　英　人
	道路部トンネル研究室主任研究員	石　村　利　明
	材料施工部施工研究室室長	大　下　武　志
東京都下水道局	計画部事業計画課課長	桜　井　義　紀
	計画部事業計画課	友　宗　忠　昭*
	計画部事業計画課	中　村　陽　一**
首都高速道路公団	工務部調査役	黒　原　一　郎
	工務部設計技術課課長補佐	伊　東　　昇***

要　旨

近年，道路，共同溝，河川，下水道等において，都市部における地下利用が進み，シールド工法によりトンネルを建設するケースが増えているが，シールド工法は山岳工法，開削による工事に比べ工事費が高くなっている。本共同研究報告書は，シールドセグメント設計法の合理化，コンクリートセグメント製作の合理化，シールド工法における施工管理のあり方について検討を行い，現状技術で対応可能なシールド工事のコストダウン項目・縮減率，今後，コストダウンの可能性のある項目について示したものである。

キーワード：シールドトンネル，セグメント，コスト縮減

＊）　現職：東京都下水道局建設部工務課

＊＊）　現職：東京都建設局河川部改修課

＊＊＊）現職：首都高速道路公団東東京管理局保全部設計課

共同研究参加研究機関および研究代表者・参加研究員

所属名	氏名	役職名
建設省土木研究所	高島　一彦	企画部先端技術開発研究官（平成9年11月～平成10年4月）
（建設省は、平成13年1月6	長　　健次	企画部先端技術開発研究官（平成10年4月～平成12年4月）
日付けで国土交通省に再編）	笹部　　薫	下水道部下水道研究室長（平成9年11月～平成11年3月）
	井上弥九郎	下水道部下水道研究室長
	真下　英人	道路部トンネル研究室長
	石村　利明	道路部トンネル研究室主任研究員
	塚田　幸広	材料施工部施工研究室長（平成9年11月～平成10年4月）
	大下　武志	材料施工部施工研究室長
東京都下水道局	篠田　康弘	計画部事業計画課長（平成9年11月～平成10年 6月）
	小川　健一	計画部事業計画課長（平成10年 7月～平成11年 5月）
	桜井　義紀	計画部事業計画課長
	稲毛　順二	計画部事業計画課技術管理係長（平成9年11月～平成10年 3月）
	松井　邦恭	計画部事業計画課技術管理係長（平成10年 4月～平成11年 3月）
	友宗　忠昭	計画部事業計画課技術管理係長（平成11年 4月～平成12年 3月）
	中村　陽一	計画部事業計画課技術管理係（平成9年11月～平成12年 3月）
首都高速道路公団	小坂　寛巳	工務部設計技術課長（平成9年11月～平成10年5月）
	植木　　博	工務部調査役（平成10年5月～平成11年1月）
	黒原　一郎	工務部調査役
	小笠原政文	工務部設計技術課長補佐（平成9年11月～平成10年5月）
	伊東　　昇	工務部設計技術課長補佐（平成10年5月～平成12年3月）
	今村　幸一	工務部設計技術課班長（平成10年8月～平成12年3月）
	市川　　衡	工務部設計技術課主査（平成9年11月～平成10年8月）
	小西　由人	工務部設計技術課主査（平成10年5月～平成12年3月）

役職名の（　）内は、前任者のみ共同研究参加期間を記載

目　　次

1．はじめに …… 1
2．現状調査・課題の整理 …… 2
　2．1　基準類の調査分析 …… 2
　2．2　コストダウン項目の抽出 …… 38
3．シールドセグメント設計法の合理化 …… 39
　3．1　設計方法およびセグメント構造による合理化の検討 …… 39
　3．2　自重に対する地盤反力の取扱いの検討 …… 44
　3．3　ボルトレスセグメントの適用条件の整理 …… 58
　3．4　配力筋，組立筋に関する基準の検討 …… 65
　3．5　二次覆工省略型セグメントの試設計 …… 71
　3．6　大口径シールドトンネルの合理化の検討 …… 82
4．コンクリートセグメント製作の合理化 …… 87
　4．1　セグメント製作による合理化の検討 …… 87
　4．2　コンクリートの最小設計基準強度の検討 …… 92
　4．3　高流動コンクリートの適用性の検討 …… 97
　4．4　検査回数の低減の検討 …… 107
　4．5　セグメント補修基準の検討 …… 115
5．シールド工事における施工管理のあり方 …… 122
　5．1　トンネルの使用目的・施工条件と施工管理項目 …… 122
　5．2　工期短縮の検討 …… 123
　5．3　シールド機の合理的な設計の検討 …… 131
　5．4　シールド工事の施工管理合理化案の検討 …… 141
6．シールド工事の合理化メニュー …… 143
7．おわりに …… 152
添付資料 …… 155
添付資料－1　セグメント図面集 …… 157
添付資料－2　セグメント補修基準（案） …… 173
添付資料－3　シールド掘進に伴うジャッキ推力・カッタートルクの使用状況 …… 187

１．はじめに

本研究開発は，「公共事業コスト縮減対策閣議会議」における公共事業のコスト縮減 10％以上の目標も踏まえ，シールド工事の合理化施工法の開発を目標とし，シールド工事のコスト縮減を図ることにより，合理的な社会資本整備に貢献することを目的としている。

近年，道路，共同溝，河川，下水道等において，都市部における地下利用が進み，シールド工法によりトンネルを建設するケースが増えているが，シールド工法は山岳工法，開削による工事に比べ工事費がかなり（３倍程度）高くなっている。シールド工法の工事費が高い理由として，地盤条件・立地条件の厳しさの他に，工区割，立坑，掘進，発生土・泥水処理，裏込め注入，二次覆工，セグメント，マシン等において種々の課題が指摘されており，今後、シールド工事のコスト縮減を図る必要がある。このため、建設省土木研究所（建設省は、平成 13 年１月６日付けで国土交通省に再編）、東京都下水道局、首都高速道路公団では、平成９年度から平成１１年度までの３カ年において、「シールド工法の合理化施工法の開発に関する共同研究」を実施した。なお、本共同研究の実施にあたっては、「シールド工事の合理化に関する検討委員会」（委員長：水谷敏則（財）先端建設技術センター常務理事）を設置し，平成９年度から１１年度までの３ヶ年に渡って審議を行った。本共同研究報告書は、シールド工事のコスト縮減を図るために実施した各検討項目について上記委員会で審議した結果の主な内容について報告するものである。

2．現状調査・課題の整理

2．1 基準類の調査分析

（1）設計基準および製作仕様書

現行の設計基準および製作仕様書について表-2．1に示す各制定機関別に調査を行った。調査した結果、各規定項目の概要は表-2．2に示すとおりである。なお、調査結果の詳細については、表-2．3～表-2．5および表-2．6～表-2．11に示す。

表-2．1　設計基準・製作仕様書調査一覧

制定機関名称	設計基準	製作仕様書
（社）土木学会	トンネル標準示方書（シールド編）・同解説 昭和６１年版[1)]	トンネル標準示方書（シールド編）・同解説 昭和６１年版[1)]
（社）土木学会	トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説 平成８年版[2)]	トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説 平成８年版[2)]
（社）土木学会・（社）日本下水道協会	シールド工事用標準セグメント 平成２年４月[3)]	シールド工事用標準セグメント 平成２年４月[3)]
東京電力株式会社	地中線土木構造物設計マニュアル 平成９年９月[4)]	
（財）鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル 平成９年７月[5)]	
帝都高速度交通営団	シールドトンネル（セグメント）の設計指針（案） 平成１０年１０月[6)]	鉄筋コンクリートセグメント 製作示方書 平成１２年８月[7)]
東京都交通局	東京都地下高速電車12号線 シールドトンネル（覆工） 平成８年３月[8)]	土木工事標準仕様書 平成１０年４月[9)]
名古屋市交通局	シールドトンネル設計基準（案） 平成４年１０月[10)]	土木工事標準仕様書 昭和６０年２月[11)]
京都市交通局		鉄筋コンクリートセグメント 製作仕様書（案） 昭和６０年２月[12)]
仙台市交通局		土木工事標準仕様書シールド編 昭和５６年１０月[13)]
横浜市交通局	横浜市高速鉄道４号線 土木施設設計基準 第４編　シールドトンネル 平成１２年１０月[14)]	高速鉄道建設土木工事標準仕様書 セグメント製作編 平成１２年４月[15)]
大阪市交通局	大阪市高速電気軌道第７号線 シールドトンネル設計基準（案） 平成５年４月[16)]	地下工事標準仕様書 平成１２年[17)]
福岡市交通局	福岡市高速鉄道３号線土木構造物設計仕様書 平成７年１１月[18)]	鉄筋コンクリートセグメント製作仕様書 平成８年８月[19)]

表-2．2　各規定項目の概要

規定項目	概　　要
設計の基本	全ての基準が許容応力度設計法を適用している。
断面力算定法	慣用計算法が主流であるが，最近の動向としてはりーばねモデルが主流となる傾向にある。
荷重の評価	土木学会のトンネル標準示方書に準拠し，それぞれの企業体の独自の荷重項目を加えている。
地盤の分類	土水分離を砂質土，土水一体を粘性土とするものが多い。
鉛直土圧の算定方法	土圧はテルツァーギの緩み土圧を基本とし，緩み土圧が期待できない場合には全土被り圧。また，最小土圧を規定している。 水圧，上載荷重を考慮している。
水平土圧の算定方法	土木学会のトンネル標準示方書に準拠している。
地盤反力係数および側方土圧係数	土木学会のトンネル標準示方書に準拠し，固定値を用いている企業体もある。
材料	ＪＩＳ規格に基づいて使用材料を規定している。
許容応力度	土木学会の標準示方書に準拠している。
セグメントの分割	標準セグメントを除いて特に明確な規定はない。
継手の設計法	基本的に土木学会のトンネル標準示方書に準拠しているが，下水道における標準セグメントなどではセグメント本体の 60％の許容曲げモーメントを設定している。
継手の配置について	下水道における標準セグメントを除いて特に明確な規定はない。
正負配筋について	一般に規定はないが，下水道における標準セグメントでは正負の抵抗モーメントが等しくなることを推奨している。
鉄筋の被り，鉄筋のあき	基本的にコンクリート標準示方書に準拠しているが最低被りは 13㎜ としているものが多い。
最小鉄筋量，最大鉄筋量	基本的にコンクリート標準示方書に準拠している。
裏込め注入圧	Ｋセグメント等局部的な部材に留意するように規定しているものがある。
吊り手	セグメントリングの重量を基準とし，その 100％，150％を耐力として規定しているものがある。
型枠	寸法の確保と耐久性に留意するよう記述されているものがある。
コンクリート	鉄道企業体では設計基準強度を 48N/㎟ としているものが多いが，標準示方書等では特に規定はない。
養生	企業体によっては水中養生を標準としている。
検査項目	基本はトンネル標準示方書による。

表－2．3（1）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計基準	設計仕様		制定機関名称	土木学会（昭和61年）	土木学会（平成8年）	土木学会・日本下水道協会	東京電力株式会社
○		1	設計の基本	許容応力度設計法に基づく。	許容応力度設計法に基づく。	許容応力度設計法に基づく。	許容応力度設計法に基づく。
○		2	断面力算定法 η：曲げ剛性 ζ：曲げ-メントの低減	①曲げ剛性一様なリングと考える方法 ②多ヒンジ系リングと考える方法 ③回転ばねをもつリングと考える方法 ※標準的な断面力算定法の規定はない。	①曲げ剛性一様なリングと考える方法 ・完全剛性一様リング：慣用計算法 ・平均剛性一様リング：修正慣用計算法 （η，ζを考慮） ②多ヒンジ系リングと考える方法 回転ばねをもつリングと考え，千鳥組による添接効果をせん断ばねで評価する方法（梁－ばねモデル）※標準的な断面力算定法の規定はない。	①曲げ剛性一様なリングと考える方法 ・完全剛性一様リング：慣用計算法 ・平均剛性一様リング：修正慣用計算法 （η，ζを考慮） ②多ヒンジ系リングと考える方法 ③回転ばねをもつリングと考える方法 ④③に加え，千鳥組による添接効果をせん断ばねで評価する方法 ※標準セグメントの計算は①で行っている	セグメントリングを剛性一様なリングとする慣用計算法を基本とする。
○		3	荷重の評価	セグメントの設計にあたって考慮する荷重として以下のものを挙げている。 主荷重：①鉛直および水平土圧／②水圧／③自重 従荷重：④上載荷重の影響／⑤地盤反力／⑥内部荷重／⑦施工時荷重 特殊荷重：⑧地震の影響／⑨併設トンネルの影響／⑩地盤沈下の影響／⑪その他	「トンネル標準示方書(S61)」の検討荷重に加え，特殊荷重として近接施工の影響を考慮する。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	セグメントの設計に当って考慮すべき荷重として以下のものを挙げている。 ①地表面上の荷重（路面交通荷重、建物荷重、盛土荷重等） ②土圧（鉛直および水平土圧） ③水圧 ④自重 ⑤地盤反力 ⑥内部荷重 ⑦施工時荷重 ⑧地震の影響 ⑨近接施工の影響 ⑩地盤沈下の影響 ⑪その他の荷重
○		4	地盤の分類	地山の条件に応じて以下に分類する。 ①土と水を分離して取扱う考え方 ②水を土の一部として包含する考え方	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	地山の条件に応じて以下に分類する。 ①砂質土：土と水とを分離して取扱う ②粘性土：水を土の一部として包含する	地山の条件に応じて以下に分類する。 ①砂質土：土と水とを分離して取扱う ②粘性土：水を土の一部として包含する 明確に区分できない場合は①②を検討し、安全側を採用する。
○		5	鉛直荷重の算定方法				
		5 ｜ 1	土圧 D_0：セグメントリング幅 N：N値	トンネル頂部に作用する荷重分布形状は等分布荷重とし，その大きさは以下の方法によって求める。 ①緩み土圧：テルツァーギの式 ・土被りが D_0に比べて深い地盤 ・一般的に良質地盤における土被りが1～2D_0以上 ②全土圧 ・緩み土圧が採用できない地盤	トンネル頂部に作用する荷重分布形状は等分布荷重とし，その大きさは以下の方法によって求める。 ①緩み土圧：テルツァーギの式 ・土被りが D_0に比べて深い地盤 ・砂質土，もしくは硬い粘性土（N≧8）の良質地盤で土被りが1～2D_0以上 ②全土圧 ・緩み土圧が採用できない地盤	トンネル頂部に作用する荷重分布形状は等分布荷重とし，その大きさは以下の方法によって求める。 ①緩み土圧：テルツァーギの式 ・土被りが D_0に比べて深い地盤 ・砂質土で土被りが2D_0以上 ②全土圧 ・緩み土圧が採用できない地盤	トンネル頂部に作用する荷重分布形状は等分布荷重とし，その大きさは以下の方法によって求める。 ①緩み土圧：テルツァーギの式 ・良質地盤で土被りが2D_0以上 ②全土圧 ・緩み土圧が採用できない地盤

表－2．3（2）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計規準	製作仕様	制定機関名称		土木学会（昭和61年）	土木学会（平成8年）	土木学会・日本下水道協会	東京電力株式会社
○		5－2	水圧	①トンネル施工中および将来の地下水位の変動を想定し，安全な設計となるような地下水圧を選定するものとする。 ②鉛直方向の水圧は等分布荷重とし，その大きさは，覆工頂部ではその頂点に作用する静水圧，底部ではその底点に作用する静水圧を標準とする。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	①水圧の大きさは将来の地下水位を想定し責任技術者の判断によって決定しなければならない。 ②鉛直方向の水圧は等分布荷重とし，その大きさは，覆工頂部ではその頂点に作用する静水圧，底部ではその底点に作用する静水圧を標準とする。	①　トンネル施工中および将来の地下水位の変動を想定し，安全な設計となるような地下水圧を選定するものとする。 ②　鉛直方向の水圧は等分布荷重とし，その大きさは，覆工頂部ではその頂点に作用する静水圧，底部ではその　底点に作用する静水圧を標準とする。
		5－3	上載荷重	上載荷重の影響は，土中の応力伝播を考慮して定めるものとする。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	土質や土被りの大きさに関わらず，常に上載荷重10kN/m²を鉛直土圧に加算する。	路面交通荷重は，トンネル標準示方書（開削編）平成8年によって良い。歩道その他の道路以外の場合は，地表面等分布荷重10kN/m²を考慮する。
		5－4	緩み土圧適用の下限値 D_0:ｾﾞﾒﾝﾄﾘﾝｸﾞ雁	一般的に以下の値を採用している。 ・良質地盤で1～2D_0の土被りがある場合	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。 また，トンネルの用途によって，以下の値を採用する事が多い。 ①下水道，電力，通信 ・2D_0以上の土被り ②鉄道トンネル ・1.0D_0～1.5D_0以上の土被り ・200kN/m²の土荷重	緩み高さが2D_0を下限値とする。	緩み高さが2D_0を下限値とする。
○		6	水平土圧の算定方法	①荷重分布形状 覆工の両側部にその横断面の図心直径にわたって，水平方向に作用する等変分布荷重とする。 ②荷重の大きさ 鉛直荷重の土圧に側方土圧係数を乗じて算定するものとする。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	①荷重分布形状 覆工の両側部にその横断面の図心直径にわたって，水　平方向に作用する等変分布荷重とする。 ②荷重の大きさ 鉛直荷重の土圧に上載荷重の影響を加えこれに側方土圧係数を乗じて定める	①荷重分布形状 覆工の両側部にその横断面の図心直径にわたって，水　平方向に作用する等変分布荷重とする。 ②荷重の大きさ 鉛直荷重の土圧に側方土圧係数を乗じて算定するものとする。
○		7	地盤反力係数（k）および側方土圧係数（λ）	表－2．6（1）参照	表－2．6（1）参照 ※土水一体・分離の区別あり。	表－2．6（1）参照	トンネル標準示方書(H8)」に準拠
	○	8	材料	表－2．7（1）参照	表－2．7（1）参照	表－2．7（1）参照	トンネル標準示方書(H8)」に準拠
○		9	許容応力度	表－2．8（1）～（2）参照	表－2．8（1）～（2）参照 ※旧基準から上がっている。	表－2．8（1）～（2）参照	表－2．8（3）～（4）参照 （「トンネル標準(H8)」に準拠）

表－2．3（3）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計基準	製作仕様		制定機関名称	土木学会（昭和61年）	土木学会（平成8年）	土木学会・日本下水道協会	東京電力株式会社
○		10	セグメントの分割	表－2．9参照 Kセグメントについて ・継手角度は，断面力の伝達と組立作業性を考慮して決　定する ・半径方向挿入型一要調査に対する検討	表－2．9参照 Kセグメントについて 継手角度(半径方向挿入）と挿入角度(軸方向挿入）は，断面力伝達，組立作業性，施工条件，製作性を考慮して定める。	表－2．9参照 Kセグメントについて 半径方向挿入型を標準としている。挿入角度については2～3°を標準としている。	シールド工事用標準セグメントに準拠
○		11	継手の設計法 ζ：曲げモーメントの減少率	セグメント継手 ①曲げ剛性一様なリング 千鳥組時の添接効果を考慮し，継手の設計断面力のう　ち曲げモーメントを割引きして考える（ζ）。 ②多ヒンジ系リング リングの組立が仕様する程度の曲げに抵抗し，設計荷重に対してはヒンジとして挙動するよう設計する。 ③回転ばねを持つリング 断面力の算出に用いた回転ばね定数を満たすように設計する。 リング継手 千鳥組時の添接効果を期待する場合，セグメント継手における曲げモーメントの減少分を隣接セグメントへ伝達　できる剛性と強さを有すること。	セグメント継手 ①曲げ剛性一様なリング 「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。 ②多ヒンジ系リング 「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。 ③回転ばねを持つリング セグメント継手位置における最大断面力を用いるが，断　面力の算出に用いた回転ばね定数を満たすように設計する。 ※①，③はボルト鉄筋とみなしたＲＣ断面として設計を行う。継手板はボルトに働く応力でその板厚を決定する。 リング継手 「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	セグメント継手 ・セグメント継手の許容モーメントが単体の抵抗モー　メントの60%以上になるように設定する。 ・せん断力，軸力については低減しないものとする。 リング継手 ・セグメント継手に準ずるものとし，セグメント継手に用いるボルトの一面せん断と同等な抵抗力を有するもの。 ・セグメント継手金具より小型の金具を用いる場合が多い。	セグメント継手 「シールド工事用標準セグメント(H2)」に準拠。 リング継手 ・地震の影響や地盤沈下等によるトンネル縦断方向の挙動に対して安全性の確認を行う。 ・セグメント継手に準ずる構造とする。
○		12	継手の配置について	継手ボルトの配置に関してのみ記述有り。 ・組立時にボルトの締め付け作業が困難にならないようにするとともに，その配置がセグメントの強度を損じ ないよう考慮する。 リング継手ボルトの配置に関して等間隔に配置するのが一般的である。	セグメント継手ボルトの配置に関して ・桁高が小さい場合は1段，桁高が大きい場合には2段配置にする。 ・セグメント幅方向のボルト配置は継手部の応力伝達等を考慮する。 リング継手ボルトの配置に関して ・等間隔に配置する。	継手ボルトの配置に関して ・ボルトボックスによる欠損部で全体の強度が低下しないように配置する。 ・千鳥組の添接効果を考えるためには，１ピース当たり２本以上でなければならない。	セグメント継手の配置に関して ・継手の個数は２個を標準とする。 リング継手の配置に関して ・等間隔に配置する。
		13	正負配筋について	規定なし （「コンクリート標準示方書(S55)」に準拠）	規定なし （「コンクリート標準示方書(H8)」に準拠）	設計用曲げモーメントに対して正負の抵抗モーメントが等しくなるような配置が望ましい。	規定なし
○		14	鉄筋のかぶり 鉄筋のあきについて	規定なし （「コンクリート標準示方書(S55)」に準拠）	鉄筋のかぶりは，コンクリートの品質，鉄筋直径，環境条件，制作精度等を考慮して定める（別紙参照）。また，主鉄筋のあきは，粗骨材最大寸法の5/4以上，鉄筋直径以上としなければならない。2段配置のときは2cm以上，鉄筋径以上とする。	最小かぶり ・13mm以上，かつ鉄筋径以上とする。 ・テーパーセグメントのリング継手面に関しては10mmまでを許容している。 最小鉄筋間隔 最大骨材寸法	最小かぶり ・25mm以上，かつ鉄筋径以上とする。

表－２．３（４）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計基準	製作仕様		制定機関名称	土木学会（昭和61年）	土木学会（平成8年）	土木学会・日本下水道協会	東京電力株式会社
○		15	最小鉄筋量 最大鉄筋量について	規定なし （「ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書(S55)」に準拠）	規定なし （「ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書(H8)」に準拠）	規定なし （「ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書(S61)」に準拠）	セグメントの最大鉄筋比は，1.0%以下とする。
○		16	裏込注入圧について	施工上一般に注入孔で100～300kN/㎡を用いてセグメント各部の検討を行う。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	規定なし （最近の工事では，裏込め注入孔で切羽泥水圧+50～200kN/㎡を用いて検討）
○		17	吊手について	セグメント1リングの重量の50%増しの荷重に対する引抜き耐力の検討を行う。	セグメント1リングの重量の50%増しの荷重に対する引抜き耐力の検討を行う。	セグメント１リング分の重量の引張力に耐える構造とする。	セグメント1リングの重量の50%増しの荷重に対する引抜き耐力の検討を行う。
	○	18	型枠について	規定なし	規定なし	堅固な構造で，形状および寸法が正確，組立取り外しが容易なものを使用する。 転用回数：実績から400～500回	規定なし
	○	19	コンクリート 圧縮強：σck 最小セメント量:Cmin 最大粒径:Gmax スランプ 塩	特に規定はない。 （[「シールド工事用標準セグメント」および実状ではσck＝42～50N/mm²が用いられている。]の記述あり。）	特に規定はないが，ヤング係数および許容応力度の項に設計基準強度の記述有り。 σck=42,45,48,51,54N/mm²	特に規定はないが，設計基準強度がσck＝42，45，48N/mm²について記述有り。	特に規定はないが，ヤング係数および許容応力度の項に設計基準強度の記述有り。 σck=42,45,48,51,54N/mm²
	○	20	養生	規定なし	規定なし	表－２．１０参照 ※蒸気養生に関する記述有り。	規定なし
	○	21	検査項目	品質管理のために行う検査の主な項目は以下のとおりとする。 ・材料検査 ・外観検査 ・形状寸法検査 ・仮組検査 ・性能検査 ・その他の検査 セグメントの仕上がりについて ・寸法精度－表－２．１１参照 ・外観　－規定なし	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。 セグメントの仕上がりについて ・寸法精度－表－２．１１参照 ・外観　－規定なし	以下の検査を製造者の責任において行い，合格したものについては検査合格の証を明記する。 ・形状寸法検査 ・外観検査 ・水平仮組検査 ・性能検査 セグメントの仕上がりについて 寸法精度－表－２．１１参照 外観　－表－２．１１照	材料の試験方法についてのみ記載あり。 材料の試験はトンネル標準示方書（H8）に準拠。

表－2．4（1）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計基準	製作仕様		制定機関名称	鉄道総合技術研究所	帝都高速度交通営団	東京都交通局	名古屋市交通局
○		1	設計の基本	許容応力度設計法に基づく。	許容応力度設計法に基づく。	許容応力度設計法に基づく。	許容応力度設計法に基づく。
○		2	断面力算定法 η:曲げ剛性低減率 ζ:曲げ-メント低減率	回転ばねをもつリングと考え，千鳥組による添接効果をせん断ばねで評価する方法 （梁－ばねモデル）	回転ばねをもつリングと考え，千鳥組による添接効果をせん断ばねで評価する方法 （梁－ばねモデル）	①曲げ剛性一様なリングと考える方法 ・完全剛性一様リング：慣用計算法 ・平均剛性一様リング：修正慣用計算法 （η，ζを考慮） ② 回転ばねをもつリングと考え，千鳥組による添接効果をせん断ばねで評価する方法（梁－ばねモデル）	慣用計算法による。
○		3	荷重の評価	セグメントの設計にあたって考慮する荷重として以下のものを挙げている。 主荷重 ①鉛直および水平土圧 ②水圧 ③自重 ④上載荷重の影響 ⑤地盤反力 従荷重 ⑥内部荷重 ⑦施工時荷重 ⑧地震の影響 特殊荷重 ⑨併設トンネルの影響 ⑩地盤沈下の影響 ⑪その他	セグメントの設計に当って考慮すべき荷重として以下のものを挙げている。 一般部荷重 ①鉛直および水平土圧 ②水圧 ③自重 ④上載荷重 ⑤地盤反力 建物荷重 ⑥建物荷重 特殊荷重 ⑦接近・交差構造物 接近工事の影響 ⑧併設トンネルの影響 ⑨地盤沈下の影響	セグメントの設計に当って考慮すべき荷重として以下のものを挙げている。 ①鉛直および水平土圧 ②水圧 ③自重 ④上載荷重の影響 ⑤地盤反力 ⑥施工時荷重 ⑦地震の影響 ⑧併設トンネルの影響 ⑨近接施工の影響 ⑩地盤沈下の影響 ⑪その他の荷重	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。
○		4	地盤の分類	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	土圧の算出は土と水とを分離して取扱うことを原則とする。ただし，粘性土の場合に土と水とを分離しないで一体として取扱う方が妥当と考えられる場合には，水を土の一部として包含して取扱ってもよい。
○		5	鉛直荷重の算定方法				
		5－1	土圧 D_0:セグメントリング径 N：N値	トンネル頂部に作用する荷重分布形状は等分布荷重とし，その大きさは以下の方法によって求める。 ①緩み土圧：テルツァーギの式 ・砂質土(N>15)で土被りが大きい場合 ・粘性土では硬い粘性土（N≧8） ・土質試験結果がある場合には砂質土(N>10)，粘性土(N>4) ②全土圧 ・緩み土圧が採用できない地盤 互層地盤の場合，それぞれの土層について緩み土圧を計算し鉛直土圧を求める。	トンネル頂部に作用する荷重分布形状は等分布荷重とし，その大きさは以下の方法によって求める。 ①緩み土圧：テルツァーギの式 ・砂質土(N>15)で土被りが大きい場合 ・粘性土では硬い粘性土（N≧8）である程度内部摩擦角が期待できる場合 ②全土圧 ・緩み土圧が採用できない地盤 ※互層地盤の場合，過去の例を参考に①と②について検討する。	トンネル頂部に作用する荷重分布形状は等分布荷重とし，その大きさは以下の方法によって求める。 ①緩み土圧：テルツァーギの式 良質地盤を貫通しかつ土被りが深く土のアーチ効果が期待できる場合 ②全土圧 軟弱地盤をトンネルが貫通するとき，または土被りが浅く土のアーチ効果を期待しがたい場合 ※良質地盤 砂質土：N>4 粘性土：N>15	トンネル頂部に作用する荷重分布形状は等分布荷重とし，その大きさはトンネルの土被り，外径および地山の条件等を考慮して定める。

表－2．4（2）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計基準	製作仕様	制定機関名称		鉄道総合技術研究所	帝都高速度交通営団	東京都交通局	名古屋市交通局
○		5－2	水圧	覆工図心線の半径方向に作用する地下水圧とする。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	①トンネル施工中および将来の地下水位の変動を想定し，安全な設計となるような地下水位を設定しなければならない。 ②鉛直方向の水圧は等分布荷重とし，その大きさは，覆工頂部ではその頂点に作用する静水圧，底部ではその底点に作用する静水圧を標準とする。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。
		5－3	上載荷重	上載荷重の影響は，土中の応力伝播を考慮して定めるものとする。	・民地部荷重については，土水圧および建物荷重を考慮　することを原則とする。 ・既設基礎杭または将来基礎杭がトンネル上部で止まる場合，地中応力算定式(Boussinesqの式)によるものとする。	・路面荷重による影響は，原則として上載荷重10kN/㎡を鉛直土圧に加算する。 ・既設構造物に対しては，土質，基礎構造トンネルとの位置関係，施工時の建物取壊去等を考慮して定めるものとする。	・路面活荷重は規定値を載荷するものとする。 ・構造物に対しては，土質，基礎構造トンネルとの位置関係，施工時の建物取壊去等を考慮して定めるものとする。 ・構造物の影響は，土中の応力伝播を考慮して定めるものとする。
		5－4	緩み土圧適用の下限値 D_0:ｾｸﾞﾒﾝﾄﾘﾝｸﾞ 厚	・緩み高さが1.0D_0以下の場合は，1.0D_0とする。	・緩み高さが1.0D_0以下の場合は，1.0D_0とする。 ・トンネル上部の土質等によっては最小緩み高さを1.0D_0　以上として良い。	・緩み高さが1.5D_0未満の場合、完成後の不測の事態や設計時に予測することが困難な荷重を考慮して最低1.5D_0とする。	規定なし
○		6	水平土圧の算定方法	①荷重分布形状 覆工の両側部にその横断面の図心直径にわたって，水　平方向に作用する等変分布荷重とする。 ②荷重の大きさ 鉛直荷重の土圧に側方土圧係数を乗じて算定するものとする。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。
○		7	地盤反力係数（k）および側方土圧係数（λ）		表－2．6（1）参照	表－2．6（2）参照	表－2．6（2）参照
	○	8	材料		表－2．7（2）～（3）参照	表－2．7（2）～（3）参照	表－2．7（2）～（3）参照
○		9	許容応力度		表－2．8（1）～（2）参照	表－2．8（3）～（4）参照	表－2．8（3）～（4）参照
○		10	セグメントの分割	Kセグメントについて 継手角度(半径方向挿入)と挿入角度(軸方向挿入)は，断面力伝達，組立作業性，施工条件，製作性を考慮して定める。	Kセグメントについてのみ記述あり。 Kセグメントのテーパーによる内側のずれ込みに対する検討を行う。	Kセグメントについてのみ記述あり。 Kセグメントの継手角度は断面力の伝達と組立作業とを考慮して設計する。	①単線：6～8(6)分割 ②複線：9～11(9)分割 ・Kセグメントについて 両テーパーキー型を基本とし，その継手角度は8～12°を標準とする。 ②弧長はA，Bセグメントの1/3以下とする。

表－2．4（3）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計基準	製作仕様		制定機関名称	鉄道総合技術研究所	帝都高速度交通営団	東京都交通局	名古屋市交通局
○		11	継手の設計法 (1)セグメント継手	セグメント継手 ・設計断面力は算定された継手部の正と負の最大曲げモーメントとその位置の軸力を組合わせたものとする。 ・半径方向挿入型Kセグメントについては，その継手位置におけるせん断力および軸力も考慮する。 リング継手 ・設計断面力は算定された継手部の最大せん断力に基づいて定める。	セグメント継手 ・設計断面力は，梁－ばねモデルによって求められた最大　曲げモーメントの60%とし，軸力は低減しない。 ・外側引張の計算ではｾｸﾞﾒﾝﾄ型式に応じて継手部のｺﾝｸﾘｰﾄの有効幅を決定する。 ・内側引張の計算ではコンクリートは全断面有効とし，継　手ボルトを引張鉄筋とする矩形断面とする。 リング継手 ・最大せん断力をリング継手ボルト全部で負担するものとしてせん断力を求め検討を行う。	①曲げ剛性一様なリングと考える方法 セグメント継手 M(1-ξ)と軸力が同時に作用する鉄筋コンクリート断面として設計する。 リング継手 ・設計方法が確立していない現状から、従来の実績等を基にして決定する。 継手板 ・箱形鉄筋コンクリートセグメントは継手の押し抜きせん断の検討を行う。平板形鉄筋コンクリートセグメントは主桁およびブラケットプレートにより支持された両端固定板として設計する。 ②梁－ばねモデルによる方法 セグメント継手 ・セグメント間に作用する軸力によってほぞ部と凸部との間に作用する割裂応力並びに支圧応力を検討。算定された最大軸力で照査する。 リング継手 ・ほぞ部と凸部との間におけるせん断耐力を検討。作用せん断力は、シャーストリップ部一箇所あたりに発生する正負の最大せん断力とする。 ・シールドジャッキの推力によってほぞ部と凸部との間に作用する割裂応力並びに支圧応力を検討。作用推力はシールドジャッキの公称装備推力とし、シールドジャッキとセグメントの凸部との間の偏心を考慮する。	セグメント継手 ・断面力の算定方法に準じて設計する。この場合継手断面は曲げモーメントと　軸力を受けるT形断面又は長方形断面とする。なお、継手ボルトはせん断力に対して十分な断面を有するものとする。 ・継手の設計は2により算出された断面力に対して行う。 リング継手 ・隣接するリングとの共同作用，施工性および止水効果等を考慮して設計しなければならない。なお構造については一般の場合セグメント継手に準ずる構造としてよい。
○		12	継手の配置について	規定なし	規定なし	規定なし	規定なし
		13	正負配筋について	規定なし	規定なし	規定なし	規定なし
○		14	鉄筋のかぶり 鉄筋のあきについて	主鉄筋の水平のあきは粗骨材最大寸法の5/4以上，鉄筋直径以上とする。 被りは環境条件，コンクリートの品質，鉄筋直径，製作精度を考慮して定める。	「ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書(H8)」に準拠。 ※ただし，大断面(φ10,000以上)，河川(干潮河川)，　澪，海底の下を通過する場合は，別途詳細検討を行うこと。	規定なし (「ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書(H8)」に準拠)	規定なし
○		15	最小鉄筋量 最大鉄筋量について	規定なし	規定なし	規定なし (「ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書(H8)」に準拠)	規定なし
○		16	裏込注入圧について	規定なし	Kセグメントの内側へのずれ込みに対する検討時，500kN/㎡とする。	規定なし	一般の場合，500kN/㎡とする。

表－2．4（4）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計基準	製作仕様		制定機関名称	鉄道総合技術研究所	帝都高速度交通営団	東京都交通局	名古屋市交通局
○		17	吊手について	運搬時，施工時の安全性について検討する。	規定なし	1ピースの5割増の重量に対する引き抜き耐力を必要とする。	規定なし
	○	18	型枠について	規定なし	鋼製あるいは同程度の強固なもので，製品強度および精度を確保でき取扱などにより歪および凹凸が生じない構造とする。	歪，変形等が生じないよう堅牢で，取扱等により歪，凹凸が生じず，組立て後も振動によりゆるまない構造とする。	鋼製で，取扱などにより歪および凹凸が生じない構造のものとする。 製作許容差±0.5mm
	○	19	コンクリート 設計基準：σck 最小セメント量:Cmin 最大骨材:Gmax 設定スランプ 塩	規定なし	σck=48N/mm²について記述有り。 ・Gmax=20mm ・Cmin=3.9kN/m³ ・スランプ値=3.0±1.5cm	σck =48N/mm² Gmax=20mm	σck =48N/mm² Gmax=20mm スランプ値 =2.5±1.0cm
	○	20	養生	規定なし	表－2．10参照 促進養生，常圧蒸気養生，加圧蒸気養生および水中養生に関する記述有り。	表－2．10参照 蒸気養生，促進養生および水中養生に記述有り。	表－2．10参照 促進養生（蒸気養生），水中養生に関して記述有り。
	○	21	検査項目	品質管理のため必要により次の検査を行う。 ①材料検査 ②形状寸法検査（製作時） ③外観検査 ④形状寸法検査（完成時） ⑤仮組検査 ⑥性能検査 ⑦その他の検査	検査および試験は以下の項目について行い成績書を監督員に提出するものとする。 ・コンクリート用材料の試験 ・鉄筋の検査 ・継手用金物の検査 ・鉄筋かごの検査 ・コンクリートの圧縮強度試験 ・コンクリート中の塩化物量の検査 ・ボルト・ナット・座金の検査及び試験 ・セグメントの外観寸法検査 ・セグメントの仮組立検査 ・セグメントの破壊試験 セグメントの仕上がりについて 寸法精度－表－2．11参照 外観　－表－2．11参照	検査および試験は，以下の項目について行うものとする。 ・コンクリート用材料の試験 ・コンクリート品質管理 ・鉄筋かごの検査 ・鉄筋，鋼材の試験および検査 ・鋳造品の試験および検査 ・継手金具の製品検査 ・ボルト類の試験および検査 ・セグメントの製品検査 ・仮組立検査 ・載荷試験 セグメントの仕上がりについて 寸法精度－表－2．11参照 外観に関する基準なし	検査および試験は以下の項目について行い成績書を監督員に提出するものとする。 ・型枠 ・鉄筋および鉄筋かご ・製品検査（載荷試験，寸法検査，リング仮水平組立て検査） ・継手金具 ・ボルト，ナットおよび座金 セグメントの仕上がりについて 寸法精度－表－2．11参照 外観　－表－2．11参照

表－2．5（1）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計規準	製作仕様	制定機関名称		京都市交通局	仙台市交通局	横浜市交通局	大阪市交通局	福岡市交通局
○		1	設計の基本	規定なし	規定なし	許容応力度設計法に基づく。	許容応力度設計法に基づく。	許容応力度設計法に基づく。
○		2	断面力算定法	規定なし	規定なし	ボルト継手形式は剛性一様リングとして慣用計算法を基本とする。新継手形式は梁-ばねモデルによっても良い。	「鉄道構造物等設計標準ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ（H9）」に準拠。梁-ばねモデルを用いる。	原則として慣用計算法を用いる。
○		3	荷重の評価	規定なし	規定なし	セグメントの設計に当って考慮すべき荷重として以下のものを挙げている。 ①鉛直および水平土圧 ②水圧 ③自重 ④上載荷重の影響 ⑤地盤反力 ⑥内部荷重 ⑦施工時荷重 ⑧地震の影響 ⑨併設トンネルの影響 ⑩近接施工の影響 ⑪地盤沈下の影響 ⑫その他の荷重	「鉄道構造物等設計標準ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ（H9）」の慣用モデルに準拠。 但し以下の荷重については考慮しない。 ・内部荷重 ・地震の影響 ・併設ﾄﾝﾈﾙの影響 ・地盤沈下の影響	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。ただし，併設トンネルと地盤沈下の影響は考慮していない。
○		4	地盤の分類	規定なし	規定なし	地山の条件に応じて以下に分類する。 ①砂質土：土と水を分離して取扱う ②粘性土：水を土の一部として包含する	地山の条件に応じて以下に分類する。 ①良質地盤：土圧と水圧を分離 ②軟弱地盤：土圧と水圧を分離しない	①砂質土：土圧と水圧を分離 ②粘性土：土圧と水圧を分離しない
○		5	鉛直荷重の算定方法					
		5－1	土圧 D_0:ｾｸﾞﾒﾝﾄﾘﾝｸﾞ径 N：N値	規定なし	規定なし	鉛直方向の等分布荷重とし，その大きさはリングの土被り，直径および地盤条件などを考慮して以下のように定める。 ①緩み土圧：テルツァーギの式 土被りが1.5D_0。以上の良質地盤に用いる。 ②全土圧 粘性土および軟い砂質土，土被りが1.5D_0以下の場合。	ｾｸﾞﾒﾝﾄ頂部に作用する等分布荷重とし，その大きさは土被り，ｾｸﾞﾒﾝﾄ径および地山の条件を考慮し以下により求める。 ①緩み土圧：テルツァーギの式 ・良質地盤 ②全土圧 ・軟弱地盤	セグメント頂部に作用する等分布荷重とし，その大きさは土被り，セグメント径および地山の条件を考慮し，以下により求める。 ①緩み土圧：テルツァーギの式 ・良質地盤 ②全土圧 ・軟弱地盤

表－2．5（2）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計基準	製作仕様	制定機関名称		京都市交通局	仙台市交通局	横浜市交通局	大阪市交通局	福岡市交通局
○		5－2	水圧	規定なし	規定なし	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	①土圧の算定において、土水分離の場合に適用する。 ②鉛直方向の水圧は等分布荷重とし、その大きさは、覆工頂部ではその頂点に作用する静水圧、底部ではその底点に作用する静水圧を標準とする。	①土圧の算定において、土水分離の場合に適用する。 ②鉛直方向の水圧は等分布荷重とし、その大きさは、覆工頂部ではその頂点に作用する静水圧、底部ではその底点に作用する静水圧を標準とする。 ③水平水圧は等変分布荷重とし、その大きさは、静水圧とする。
		5－3	上載荷重	規定なし	規定なし	・路面交通荷重は、「横浜市高速鉄道4号線土木施設設計基準　開削トンネル編」による。 ・建物荷重は、必要に応じて考慮すること。	・路面活荷重による影響は原則として考慮する。 ・既設構造物に対しては土質、基礎構造物トンネルとの位置関係、施工時の建物防護法等を考慮して定めるものとする	・路面活荷重による影響は、原則として考慮する。 ・既設構造物に対しては、土質、基礎構造トンネルとの位置関係、施工時の建物防護法等を考慮して定めるものとする。
		5－4	緩み土圧適用の下限値 D_0:ｾﾞﾈﾚｰﾀｰ幅	規定なし	規定なし	土被り1.5D_0を緩み土圧適用の下限値としている。	「鉄道構造物等設計標準ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ（H9）」に準拠。	・良質土で1.0D_0以上の土被り
○		6	水平土圧の算定方法	規定なし	規定なし	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	「鉄道構造物等設計標準ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ（H9）」に準拠。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。
○		7	地盤反力係数(k)および側方土圧係数(λ)	規定なし	規定なし	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。	「鉄道構造物等設計標準ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ（H9）」の慣用モデルに準拠。	「トンネル標準示方書(S61)」に準拠。
	○	8	材料	表－2．7（4）～（5）参照	表－2．7（4）～（5）参照 ※多くが、トンネル標準示方書に準拠。	表－2．7（4）～（5）参照	表－2．7（4）～（5）参照	表－2．7（6）参照
○		9	許容応力度	規定なし	規定なし	表－2．8（5）～（6）参照	表－2．8（5）～（6）参照	表－2．8（7）～（8）参照
○		10	セグメントの分割	規定なし	規定なし	①施工性等を考慮して極力少ない分割数とする。 ・Kセグメントについて ①　継手角度は17~24°が多い。	「鉄道構造物等設計標準ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ（H9）」に準拠。	規定なし ・Kセグメントについて 継手角度は、軸力とせん断力の伝達と組立作業性を考慮して決定する。

表－2．5（3）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計基準	製作仕様		制定機関名称	京都市交通局	仙台市交通局	横浜市交通局	大阪市交通局	福岡市交通局
○		11	継手の設計法 (1)セグメント継手	規定なし	規定なし	規定なし	**セグメント継手** ①継手断面は、ボルトを鉄筋と見なし曲げモーメントと軸力が同時に作用する鉄筋コンクリート長方形断面として設計する。 ②継手板は、上記のボルトに作用する荷重を用いて設計する ③継手金物は上記のボルトに作用する荷重を受ける部材として設計する **リング継手** ①梁バネモデルでの隣接リング間の相対変位量に応じたせん断力に対して設計する ②以下の項目に留意し設計する ・他の構造物と接続する箇所 ・他の構造物と交差する箇所 ・土質急変位置、液状化（砂質地盤） ・地震の影響	(1) セグメント継手 ①継手断面　鉄筋コンクリートではボルトを鉄筋とみなして、曲げモーメントと軸力が同時に作用する鉄筋コンクリート長方形断面として設計するものとする。また、鋼製セグメントではセグメント外縁を回転端としてボルトの応力計算を行うものとする。なお、ボルトはせん断力に対して十分な断面を有するものとする。 ②継手角度の大きさ　Kセグメントの継手角度は、軸力とせん断力の右図と組み立て作業性を考慮して定めるものとする。 ③継手板　①の継手断面における引張鉄筋としてのボルトに作用する荷重を用いて設計するものとする。 ④継手金物　①の継手断面における引張鉄筋としてのボルトに作用する荷重を受ける部材として、フランジプレート、アンカー筋等について設計するものとする。 (2) リング継手 ①リング継手は、セグメント継手面に生じる曲げモーメントの一部をリングボルトのせん断抵抗によって隣接するセグメントに伝達するように実績例を参考として設計するものとする。 ②リング継手は次の項目について十分な機能を有するよう設計するものとする。 ・シールドトンネルの縦断方向において、他の構造物と接続する箇所 ・シールドトンネルと他の構造物が交差する箇所 ・土質が急変する箇所、あるいは液状化のおそれがある砂質地盤 ・地震の影響
○		12	継手の配置について	規定なし	規定なし	規定なし	「鉄道構造物等設計標準ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ（H19）」に準拠。	規定なし
		13	正負曲げについて	規定なし （「ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書(S55)」に準拠）	規定なし	規定なし	規定なし	規定なし
○		14	鉄筋のかぶり 鉄筋のあきについて	規定なし （「ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書(S55)」に準拠）	規定なし	鉄筋のかぶり ・主　筋：40㎜以上 ・配力筋：25㎜以上 鉄筋のあき 粗骨材の最大寸法の(20㎜)の5/4倍以上	「鉄道構造物等設計標準ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ（H19）」に準拠。	規定なし
○		15	最小鉄筋量 最大鉄筋量について	規定なし （「ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書(S55)」に準拠）	規定なし	規定なし	「鉄道構造物等設計標準ｺﾝｸﾘｰﾄ構造物（H4）」に準拠。	規定なし
○		16	裏込注入圧について	規定なし	地山の条件，セグメントの強度等を考慮し適切な注入圧，注入量等の管理を行う。	規定なし	「鉄道構造物等設計標準ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ（H19）」に準拠。	規定なし
○		17	吊手について	規定なし	規定なし	規定なし	「鉄道構造物等設計標準ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ（H19）」に準拠。	規定なし
	○	18	型枠について	鋼製または同程度の強剛なもので，製品強度および精度を確保でき取扱などにより歪および凹凸が生じない構造とする。	鋼製で，取扱などにより歪および凹凸が生じない構造のものとする。 製作許容差±0.5㎜	堅剛な構造で、形状及び寸法が正確であり、組立取り外しが容易なこと。	剛性の強い鉄製で組立および脱型時に歪および凹凸が生じない構造とする。	鋼製または同程度の強剛なもので，製品強度および精度を確保でき取扱などにより歪および凹凸が生じない構造とする。

表－２．５（４）各機関における設計基準・製作仕様書　調査結果

設計基準	製作仕様		制定機関名称	京都市交通局	仙台市交通局	横浜市交通局	大阪市交通局	福岡市交通局
	○	19	コンクリート 設計基準：σck 最小セメント量：Cmin 最大粗骨材：Gmax 設計スランプ 配合	σck ＝45N/mm² Gmax＝25mm スランプ値＝3.0cm以下 標準配合有り。	規定なし ※標準配合は各工事ごとに規定される。	σck ＝48N/mm² Gmax＝20mm	σck＝48N／mm² Gmax＝２０mm スランプ＝3.0cm以下	σck ＝48N/mm² Gmax＝25mm スランプ値＝3.0 標準配合有り。
	○	20	養生	表－２．１０参照 促進養生，常圧蒸気養生，加圧蒸気養生および水中養生に関する記述有り。	名古屋市交通局「土木工事標準仕様書シールド編(S60)」に準拠。	表－２．１０参照 水中養生，常圧蒸気養生，加圧蒸気養生に関する記述有り。	水中養生を標準とする。	帝都高速交通営団「鉄筋コンクリートセグメント製作示方書(H4)」と同様。
	○	21	検査項目	以下の項目は，検査および試験を行う。 ・コンクリート用材料および鉄筋 ・鉄筋かご 以下の項目は，検査および試験を行い成績書を監督員に提出するものとする。 ・コンクリート圧縮強度 ・型枠 ・外観 ・形状寸法 ・仮組 ・性能 セグメントの仕上がりについて 寸法精度－表－２．１１参照 外観　－規定なし	検査および試験は以下の項目について行い成績書を監督員に提出するものとする。 ・型枠 ・鉄筋かご ・コンクリート ・セグメント（載荷試験，寸法検査，リング仮水平組立検査） ・ボルト，ナットおよび座金 セグメントの仕上がり精度について 寸法精度－名古屋市交通局に準拠。 外観　－規定なし	検査および試験は以下の項目について行い成績書を監督員に提出するものとする。 ・コンクリートの管理試験 ・鉄筋の試験および検査 ・鋼材の試験および検査 ・ボルト類の試験および検査 ・型枠の検査 ・鉄筋かごの検査 ・セグメント（継手金具を含む）の製品検査 ・仮組立検査 ・載荷試験 セグメントの仕上がり精度について 寸法精度－寸法精度－表－２．１１参照 外観　－規定なし	検査および試験は以下の項目について行い成績書を監督職員に提出するものとする。 ・材料 ・コンクリート ・型枠 ・鉄筋組立 ・コンクリート打ち込み ・外観 ・寸法 ・破壊	検査および試験は以下の項目について行い成績書を監督員に提出するものとする。 ・コンクリート用材料 ・鉄筋 ・継手金物 ・鉄筋かご ・コンクリートの圧縮試験 ・コンクリート中塩化物試験 ・ボルト，ナット，座金 ・外観，寸法 ・仮組立 ・破壊 セグメントの仕上がりについて 寸法精度－鉄道総合技術研究所と同様 外観　－規定なし

表－２．６（１）地盤反力係数（ｋ）および側圧土圧係数（λ）

企業体名	土木学会.	土木学会	土木学会・日本下水道協会	帝都高速度交通営団
設計基準	トンネル標準示方書（シールド編）・同解説	トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説	シールド工事用標準セグメント	シールドトンネル(セグメント)の設計指針(案) 平成１０年１０月
製作仕様書	昭和６１年版	平成８年版	平成２年４月	鉄筋コンクリートセグメント製作示方書 平成１２年８月

側方土圧係数(λ)および地盤反力係数(κ)

（κ値N/cm³）

土の種類	λ	κ	N値による目安
非常によく締まった砂質土	0.35～0.45	30～50	N≧30
固結した粘性土			N≧25
締まった砂質土	0.45～0.55	10～30	15≦N＜30
硬い粘性土			8≦N＜25
中位の粘性土		5～10	4≦N＜8
緩い砂質土	0.50～0.60	0～10	N＜15
柔らかい粘性土	0.55～0.65	0～5	2≦N＜4
非常に柔らかい粘性土	0.65～0.75	0	N＜2

側方土圧係数(λ)および地盤反力係数(κ)

（κ値N/cm³）

土水の扱い	土の種類	λ	κ	N値による目安
土水分離	非常によく締まった砂質土	0.35～0.45	30～50	30≦N
	締まった砂質土	0.45～0.55	10～30	15≦N＜30
	緩い砂質土	0.50～0.60	0～10	N＜15
	固結した粘性土	0.35～0.45	30～50	25≦N
	硬い粘性土	0.45～0.55	10～30	8≦N＜25
	中位の粘性土	0.50～0.60	0～10	4≦N＜8
土水一体	中位の粘性土	0.55～0.65	5～10	4≦N＜8
	柔らかい粘性土	0.65～0.75	0～5	2≦N＜4
	非常に柔らかい粘性土	0.70～0.85	0	N＜2

「トンネル標準示方書(H8)」に準拠。ただし，土水一体土水分離の分類の記述なし。

2.側方土圧係数と地盤反力係数の組合せ

砂質土の場合(土水分離)

λ ＼ (κ値:N/cm³)	10.0	20.0	40.0	80.0
0.4			○	○
0.5	○	○	○	○
0.6	○	○	○	○
0.7	○	○		

粘性土の場合(土水一体)

λ ＼ (κ値:N/cm³)	0	2.50	5.0	10.0
0.6			○	○
0.7	○	○	○	○
0.8	○	○	○	○
0.9	○	○		

No.	号線	工区	λ	Kₛ
1	5	富岡町	0.8	0
2	〃	洲崎	0.8	0
3	〃	洲崎	0.8	0
4	9	千住緑町	0.8	0
5	〃	隅田川	0.8	0
6	〃	神田川	0.6	30
7	〃	駿河台	0.6	30
8	〃	霞ケ関二	0.5	40
9	〃	永田町	0.4	35
10	〃	山王下	0.4	30
11	〃	南青山二	0.5	25
12	〃	南青山三	0.5	30
13	〃	原宿	0.5 0.6	40 20
14	8	渡国寺一	0.5	30
15	〃	幸町	0.5	30
16	〃	平河町一	0.5	30
17	〃	平河町二	0.4	35
18	〃	永田町一	0.4	35
19	〃	永田町二	0.4	35
20	〃	日比谷濠	0.8	0
21	〃	霞ケ関	0.4	35
22	〃	平和台二	0.5	30
23	〃	氷川台二	0.5	30
24	11	笹町三	0.5	30
25	〃	平河町三	0.4	45
26	〃	神保町二	0.5	50
27	〃	九段下	0.4 0.4	45 50
28	7	西ケ原三	0.5 0.55	30 20
29	〃	飛鳥山	0.4 0.45	50 30
30	〃	王子三	0.4 0.55 0.6 0.65	50 20 15 10
31	〃	神谷	0.75	0
32	〃	赤羽	0.75	0
33	8	隅田川	0.4 0.5 0.5 0.75	50 30 20 0
34	〃	晴海	0.4 0.5 0.5 0.75	50 40 30 5
35	〃	東雲	0.75	0
36	〃	辰巳三	0.75	0
37	〃	人形町	0.4 0.5 0.5 0.45	50 40 30 35
38	〃	永田町	0.45	30
39	〃	永田町二	0.4	35
40	7	井荻藤	0.4 0.4	50 35
41	〃	市ケ谷濠	0.4	50
42	〃	牛込濠	0.4	50
43	〃	後楽	0.4	50
44	〃	本郷	0.4 0.45	50 35
45	〃	向丘	0.45 0.4	50 30
46	〃	本駒三	0.55 0.45	20 30

表－２．６（２）地盤反力係数（ｋ）および側圧土圧係数（λ）

企業体名	東京都交通局	名古屋市交通局	横浜市交通局	鉄道総合技術研究所
設計基準	東京都地下鉄高速電車１２号線 シールドトンネル（覆工） 平成８年３月	シールドトンネル設計基準(案) 平成４年１０月	横浜市高速鉄道４号線土木施設設計基準 第４編シールドトンネル 平成１２年１０月	鉄道構造物等設計標準・同解説　シールドトンネル 平成９年７月
製作仕様書	土木工事標準仕様書 平成１０年４月	土木工事標準仕様書 昭和６０年		

東京都交通局

側方土圧係数(λ)および地盤反力係数(κ)

(κ値:N/cm³)

	土質条件	λ	κ	N値による目安
良質地盤	非常によく締まった砂	0.4	50.0	N≧30
	固結した粘土	0.4	40.0	N≧25
	しまった砂	0.5	30.0	15≦N<30
	硬い粘土	0.5	20.0	8≦N<25
	中位の粘土	0.5	10.0	4≦N<8
軟弱地盤	緩い砂	0.5	10.0	N<15
	柔らかい粘土	0.6	5.0	2≦N<4
	非常に柔らかい粘土	0.7	0.0	N<2

名古屋市交通局

側方土圧係数(λ)

	土質条件	λ	N値による目安
良質地盤	非常によく締まった砂質土	0.35～0.45	N≧30
	固結した粘性土		N≧25
	締まった粘性土	0.45～0.55	15≦N<30
	硬い粘性土		8≦N<25
	中位の粘性土		4≦N<8
軟弱地盤	緩い砂質土	0.5～0.6	N<15
	柔らかい粘性土	0.55～0.65	2≦N<4
	非常に柔らかい粘質土	0.65～0.75	N<2

ただし特殊な地盤等でこれに拠り難い場合には、別に定めるものとする。

横浜市交通局

側方土圧係数(λ)および地盤反力係数(κ)

(κ値:N/cm³)

土水の扱い	土の種類	λ	κ	N値による目安
土水分離	非常によく締まった砂質土	0.35～0.45	30～50	30≦N
	締まった砂質土	0.45～0.55	10～30	15≦N<30
	緩い砂質土	0.50～0.60	0～10	N<15
	固結した粘性土	0.35～0.45	30～50	25≦N
	硬い粘性土	0.45～0.55	10～30	8≦N<25
	中位の粘性土	0.50～0.55	5～10	4≦N<8
土水一体	中位の粘性土	0.55～0.65	5～10	4≦N<8
	柔らかい粘性土	0.65～0.75	0～5	2≦N<4
	非常に柔らかい粘性土	0.75～0.85	0	N<2

鉄道総合技術研究所

全周地盤ばねモデルの側方土圧係数λ

土水の扱い	土の種類		λ	N値の目安
土水分離	砂質土	非常に密な	0.45	30≦N
		密な	0.45～0.50	15≦N<30
		中位，緩い	0.50～0.60	N<15
土水一体	粘性土	硬い	0.40～0.50	8≦N≦25
		中位	0.50～0.60	4≦N<8
		軟らかい	0.60～0.70	2≦N<4
		非常に軟らかい	0.70～0.80	N<2

慣用モデルの側方土圧係数λ

土水の扱い	土の種類		λ	N値の目安
土水分離	砂質土	非常に密な	0.45	30≦N
		密な	0.45～0.55	15≦N<30
		中位，緩い	0.50～0.60	N<15
	粘性土	固結した	0.35～0.45	25≦N
		硬い	0.45～0.55	8≦N<25
土水一体		中位	0.55～0.65	4≦N<8
		軟らかい	0.65～0.75	2≦N<4
		非常に軟らかい	0.75	N<2

全周地盤ばねモデルの地盤反力係数×トンネル半径の値(N/cm²)

土の種類		裏込め注入硬化過程※1	裏込め注入硬化後※2	N値による目安
砂質土	非常に密な	3500～4700	5500～9000	30≦N
	密な	2150～3500	2800～5500	15≦N<30
	中位，緩い	～2150	～2800	N<15
粘性土	固結した	3150～	4600～	25≦N
	硬い	1300～3150	1500～4600	8≦N≦25
	中位	700～1300	750～1500	4≦N<8
	軟らかい	350～700	380～750	2≦N<4
	非常に軟らかい	～350	～380	N<2

※1 主荷重での横断面設計，施工時荷重に対する検討

※2 近接施工の影響，地震の影響，特殊荷重等に対する検討

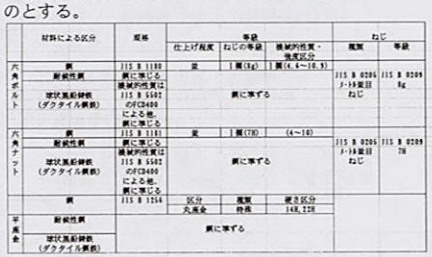
慣用モデルの水平方向の地盤反力係数(N/cm3)

土の種類		k	N値による目安
砂質土	非常に密な	30～50	30≦N
	密な	10～30	15≦N<30
	中位，緩い	0～10	N<15
粘性土	固結した	30～50	25≦N
	硬い	10～30	8≦N≦25
	中位	05～10	4≦N<8
	軟らかい	0～05	2≦N<4
	非常に軟らかい	0	N<2

表－２．７（１）　材料

企業体名	土木学会.	土木学会	土木学会・日本下水道協会	東京電力株式会社
設計基準 製作仕様書	トンネル標準示方書 （シールド編）・同解説 昭和６１年版	トンネル標準示方書 （シールド編）・同解説 平成８年	シールド工事用標準セグメント 平成２年４月１日	地中線土木構造物設計マニュアル 平成９年９月
セメント	JIS R 5210　ポルトランドセメント JIS R 5211　高炉セメント A,B,C 3種 JIS R 5212　シリカセメント　A,B,C 3種 JIS R 5213　フライアッシュセメント A,B,C 3種	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド編)・同解説」（昭和６１年）に準拠。ただしA,B,Cの３種に限っていない。	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド工法編)・同解説」（平成８年）に準拠。	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」（平成８年）に準拠
鋼材	JIS G 3101　一般構造用圧延鋼材 JIS G 3106　溶接構造用圧延鋼材	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド編）・同解説」（昭和６１年）に準拠。	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド編)・同解説」（昭和６１年）に準拠。	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」（平成８年）に準拠
鋳造品	JIS G 5101　炭素鋼鋳鋼品 JIS G 5501　ねずみ鋳鉄品 JIS G 5502　球状黒鉛鋳鉄品	JIS G 5102　溶接構造用鋳鋼品 JIS G 5501　ねずみ鋳鉄品 JIS G 5502　球状黒鉛鋳鉄品 JIS G 5503　オーステンパ球状黒鉛鋳鉄品	JIS G 5502　球状黒鉛鋳鉄品	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」（平成８年）に準拠
鋼棒 および 鋼線	JIS G 3112　鉄筋コンクリート用棒鋼 JIS G 3521　硬鋼線 JIS G 3532　鉄　線 JIS G 3505　軟鋼線材 JIS G 3506　硬鋼線材 JIS G 3536　PC鋼線およびPC鋼より線	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド編)・同解説（昭和６１年）に準拠。ただし以下のものが加わる。 JIS G 3538　PC硬鋼線	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド編)・同解説」（昭和６１年）に準拠。ただし以下のものが除かれる。 JIS G 3536　PC鋼線およびPC鋼より線	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」（平成８年）に準拠
ボルト ナットおよび 座金	JIS B 1180　六角ボルト JIS B 1181　六角ナット JIS B 1186　摩擦接合用高力ボルト・六角ナット・平座金のセット JIS B 1256　平座金	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド編)・同解説」（昭和６１年）に準拠。ただし以下のものが加わる。 JIS B 1051　鋼製ボルト・小ねじの機械的性質	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド編)・同解説」（昭和６１年）に準拠。	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」（平成８年）に準拠
鋼管 その他	JIS B 2301　ねじ込み式可鍛鋳鉄製継手 JIS B 2302　ねじ込み式鋼管製管継手 JIS G 3444　一般構造用炭素鋼鋼管 JIS G 3445　機械構造用炭素鋼鋼管 JIS G 3452　配管用炭素鋼鋼管 JIS G 3454　圧力配管用炭素鋼鋼管 JIS G 3455　高圧配管用炭素鋼鋼管	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド編)・同解説（昭和６１年）に準拠。	土木学会. トンネル標準示方書（シールド編）　昭和６１年に準拠。ただし以下のものが除かれる。 JIS B 2301　ねじ込み式可鍛鋳鉄製継手 JIS B 2302　ねじ込み式鋼管製管継手 プラグ・ソケット 合成樹脂製プラグ JIS B 2301（ねじ込み式可鍛鋳鉄製管継手）に規定するプラグ 球状黒鉛鋳鉄製ソケット	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」（平成８年）に準拠
溶接棒および 溶接ワイヤー	JIS Z 3211　軟鋼用被覆アーク溶接棒 JIS Z 3212　高張力鋼用被覆アーク溶接棒 JIS Z 3311　サブマージアーク溶接用ワイヤー JIS Z 3312　炭酸ガスアーク溶接用鋼ワイヤー JIS Z 3313　軟鋼および50k高張力鋼アーク溶接用フラックスワイヤー	JIS Z 3211　軟鋼用被覆アーク溶接棒 JIS Z 3212　高張力鋼用被覆アーク溶接棒 JIS Z 3312　軟鋼および高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤー JIS Z 3313　軟鋼および高張力鋼用マグ溶接フラックス入りワイヤー JIS Z 3313　炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク溶接ワイヤー JIS Z 3313　炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク溶接フラックス	JIS Z 3211　軟鋼用被覆アーク溶接棒 JIS Z 3311　鋼サブマージアアーク溶接材料 JIS Z 3312　軟鋼および高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤー JIS Z 3313　軟鋼および高張力鋼用マグ溶接フラックス入りワイヤー JIS Z 3351　炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク溶接用ワイヤー JIS Z 3352　炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク溶接用フラックス	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」（平成８年）に準拠

表－２．７（２）　材料

企業体名	帝都高速度交通公団	東京都交通局	名古屋市交通局	鉄道総合技術研究所
設計基準	シールドトンネル(セグメント)の設計指針(案) 平成１０年１０月	東京都地下鉄高速電車１２号線 シールドトンネル（覆工） 平成８年３月	シールドトンネル設計基準(案) 平成４年１０月	鉄道構造物等設計標準・同解説　シールドトンネル 平成９年７月
製作仕様書	鉄筋コンクリートセグメント製作示方書 平成１２年８月	土木工事標準仕様書 平成１０年４月	土木工事標準仕様書 昭和６０年１１月	
セメント	土木学会:「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」（平成８年）、ＪＩＳ Ｒ ５２１０ポルトランドセメントに準拠。	コンクリート材料は、土木工事標準仕様書及び土木学会:「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」（平成８年）に準拠。 ただし、以下の条件がある。 1. セメントは、普通ポルトランドセメント又は高炉セメントを標準とする。 2. 高炉セメントを使用する場合は、Ｂ種のうち高炉スラグ微粉末の置換率が４０％以上のもの、又はこれに相当する混和材料としての高炉スラグ微粉末量を含有するコンクリートを標準とする。 3. 海域部のセグメントでは、セメント中の高炉スラグ微粉末の置換率が５０％以上の高炉セメントを使用することなどにより耐久性を確保する。	設計図書に示す規格に適合するものとし、その規格証明書等を監督員に提出するのもとする。その他監督員の指示する材料については、試験結果等を提出するものとする。	JIS R 5210　ポルトランドセメント JIS R 5211　高炉セメント A,B,C 3種 JIS R 5212　シリカセメント　A,B,C 3種 JIS R 5213　フライアッシュセメント A,B,C 3種
鋼材	JIS G 3101　一般構造用圧延鋼材 JIS G 3106　溶接構造用圧延鋼材 JIS G 3114　溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材	JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」 JIS G 3106「溶接構造用圧延鋼材」		JIS G 3101　一般構造用圧延鋼材 JIS G 3106　溶接構造用圧延鋼材 JIS G 3114　溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材
鋳造品	JIS G 5502　球状黒鉛鋳鉄品	JIS G 5502　「球状黒鉛鋳鉄品」 に規定する２種　FCD450 および３種　FCD500　の規格品とする。		JIS G 5102　溶接構造用鋳鋼品 JIS G 5501　ねずみ鋳鉄品 JIS G 5502　球状黒鉛鋳鉄品 JIS G 5503　オーステンパ球状黒鉛鋳鉄品 JIS G 5702　黒心可鍛鋳鉄品
鋼棒 および 鋼線	特に指定するものを除き JIS G 3112　鉄筋コンクリート用棒鋼　熱間圧延異形棒鋼３種 SD345 の規格品とする。なお使用にあたっては「土木工事標準示方書　総則編」 3.2.1 によるものとする。	「東京都地下高速電車土木工事標準仕様書 」の「鉄筋コンクリート用棒鋼 」に規定するものを使用する。		JIS G 3112　鉄筋コンクリート用棒鋼 JIS G 3521　硬鋼線 JIS G 3532　鉄　線
ボルト ナットおよび 座金	ボルト・ナットおよび座金は下表の規格品とし使用する材料、強度および形状・寸法の詳細は設計図によるものとする。 	ボルトはJIS B 1181「六角ボルト」及びJIS B 0205「ﾒｰﾄﾙ並目ねじ」に適合、仕上げ程度は並ねじ精度３級、機械的性質はJIS B 1051 「鋼製のボルト、小ねじの機械的性質」による。 ナットはJIS B 1181「六角ナット」及びJIS B 0205「ﾒｰﾄﾙ並目ねじ」に適合、仕上げ程度は並ねじ精度３級、機械的性質はJIS B 1052 「鋼製ナットの機械的性質」による。 座金は平座金（並丸）としJIS B 1256「平座金」による。 高力ボルト製品を使用する場合はJIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット平座金のセット」の規格による。		JIS B 1180　六角ボルト JIS B 1181　六角ナット JIS B 1186　摩擦接合用高力ボルト・六角ナット・平座金のセット JIS B 1256　平座金

表－２．７（３）　材料

企業体名	帝都高速度交通公団	東京都交通局	名古屋市交通局	鉄道総合技術研究所
設計基準	シールドトンネル(セグメント)の設計指針(案) 平成１０年１０月	東京都地下鉄高速電車１２号線 シールドトンネル（覆工） 平成８年３月	シールドトンネル設計基準(案) 平成４年１０月	鉄道構造物等設計標準・同解説　シールドトンネル 平成９年７月
製作仕様書	鉄筋コンクリートセグメント製作示方書 平成１２年８月	土木工事標準仕様書 平成１０年４月	土木工事標準仕様書 昭和６０年１１月	
鋼管 その他	ボルト孔保持用パイプ JIS G 3444　一般構造用炭素鋼鋼管 STK 400 JIS G 3445　機械構造用炭素鋼鋼管 STK　M11A 注入用パイプ JIS G 3445　機械構造用炭素鋼鋼管 13種A ねじは　JIS B 0216 ﾒｰﾄﾙ台形ねじ 注入孔栓 形状は設計図によるものとし、ねじは JIS B 0216 ﾒｰﾄﾙ台形ねじ に適合するものとする。使用する材料は設計図に示す物性を有するスチレン系樹脂「ABS樹脂」またはＰＰＥ「ナイロンアロイ」を用いる。	ボルト孔保持用パイプ JIS G 3444「一般構造用炭素鋼管」に規定する STK400　の規格品とする。 注入用パイプ JIS G 3445「機械構造用炭素鋼管」に規定する 13種Ａ（STKM13A）の規格品とする。パイプはニップルを接続できるような構造とする。 注入孔栓 JIS B 0216 「ﾒｰﾄﾙ台形ねじ」の規格品で、使用材料はJIS G 5502 球状黒鉛鋳鉄品３種 FCD 500 に適合するもの、または変性ポニフェレンエーテル(PPE)/ナイロンアロイ樹脂製品を使用する。また鋳鉄製注入孔栓の使用範囲は設計図に示す範囲とする。 ボルト孔止水用パッキング材 監督員の承諾を得たものを使用する。		JIS B 2301　ねじ込み式可鍛鋳鉄製継手 JIS B 2302　ねじ込み式鋼管製管継手 JIS G 3444　一般構造用炭素鋼鋼管 JIS G 3445　機械構造用炭素鋼鋼管 JIS G 3452　配管用炭素鋼鋼管 JIS G 3454　圧力配管用炭素鋼鋼管 JIS G 3455　高圧配管用炭素鋼鋼管
溶接棒および溶接ワイヤー	JIS Z 3211　軟鋼用被覆アーク溶接棒 JIS Z 3212　高張力鋼用被覆アーク溶接棒 JIS Z 3212　軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤー	日本工業規格（ＪＩＳ）に規定するものを使用する。		JIS Z 3211　軟鋼用被覆アーク溶接棒 JIS Z 3312　高張力鋼用被服アーク溶接棒 JIS Z 3312　軟鋼および高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤー JIS Z 3313　軟鋼および高張力鋼用マグ溶接フラックス入りワイヤー JIS Z 3351　炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク溶接用ワイヤー JIS Z 3352　炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク溶接用フラックス

表－２．７（４）　材料

<table>
<tr><th>企業体名</th><th>京都市交通局</th><th>仙台市交通局</th><th>横浜市交通局</th><th>大阪市交通局</th></tr>
<tr><td>設計基準</td><td></td><td></td><td>横浜市高速鉄道４号線土木施設設計基準
第４編シールドトンネル
平成１２年１０月</td><td>大阪市高速電気軌道第７号線
シールドトンネル設計基準（案）
平成５年４月</td></tr>
<tr><td>製作仕様書</td><td>鉄筋コンクリートセグメント製作仕様書（案）
昭和６０年２月</td><td>土木工事標準仕様書　シールド編
昭和５６年１０月</td><td>高速鉄道建設土木工事標準仕様書　セグメント製作編
平成１２年４月</td><td>地下工事標準仕様書
平成１２年</td></tr>
<tr><td>セメント</td><td>土木学会:「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」（平成８年）に準拠土 JIS R 5210　ポルトランドセメント
JIS A 5005　コンクリート用砕石
土木学会基準　減水材規格に適合するものとする。</td><td>JIS R 5210　の規格に適合するもの。</td><td>設計基準強度　48 N/㎟
最大骨材寸法　20 ㎜</td><td>ｾｸﾞﾒﾝﾄの製作に先立ち、製作要領書、製作図、品質管理計画書、製作工程表を作成し提出すること。ｼｰﾙﾄﾞ推進時および裏込め注入等施工時荷重について耐力計算を行うこと。</td></tr>
<tr><td>配合</td><td></td><td></td><td>所要の強度、耐久性、水密性等をもち、品質のばらつきの少ない打ち込み作業ができるワーカビリチーを持つ配合とする。</td><td>コンクリートセグメントに用いるコンクリートは、設計基準強度σck＝48N／mm²。
スランプ＝3.0cm 以下、粗骨材の最大寸法G＝２０mm を基準に配合設計し試験練りを行い、その試験結果および配合決定に関する資料を提出すること。</td></tr>
<tr><td>鋼材</td><td></td><td></td><td>JIS G 3101　一般構造用圧延鋼材
JIS G 3106　溶接構造用圧延鋼材
JIS G 3114　溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材</td><td></td></tr>
<tr><td>鋳造品</td><td></td><td></td><td>JIS G 5502　球状黒鉛鋳鉄品</td><td>ダクタイルセグメントの材質はJIS　G　5502　球状黒鉛鋳鉄品の規格品とする</td></tr>
<tr><td>鋼棒
および
鋼線</td><td>特に指定するものを除き JIS G 3112　鉄筋コンクリート用棒鋼　熱間圧延異形棒鋼２種 SD30 の規格品とする。</td><td>JIS G 3112　鉄筋コンクリート用棒鋼</td><td>JIS G 3112　鉄筋コンクリート用棒鋼　熱間圧延異形棒鋼３種 SD345 の規格品とする。</td><td>躯体構造物に使用する鉄筋は、JIS　G　3112　鉄筋コンクリート用棒鋼の規格に合格するもの</td></tr>
<tr><td>ボルト
ナットおよび
座金</td><td>
<table>
<tr><th>種類</th><th>ＪＩＳ</th><th>仕上がり程度
形状の区別</th><th>ねじおよび
ねじ精度</th><th>機械的性質
（材料）</th></tr>
<tr><td>六角ボルト</td><td>JIS B 1180</td><td>並</td><td rowspan="2">ﾒｰﾄﾙ並目ねじ
３級
JIS B 0205
JIS B 0209</td><td rowspan="3">「設計図」
による</td></tr>
<tr><td>六角ナット</td><td>JIS B 1181</td><td>並・２種</td></tr>
<tr><td>平座金</td><td>JIS B 1256</td><td>並・丸</td><td></td></tr>
</table>
</td><td>土木学会:「トンネル標準示方書（シールド編）・同解説（昭和６１年）に準拠。ただし以下のものが除かれる。

JIS B 1186　摩擦接合用高力ボルト・六角ナット・平座金のセット</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">規格</th><th colspan="4">等級</th><th colspan="2">ねじ</th></tr>
<tr><th>仕上程度</th><th>ねじ精度</th><th>機械的性質</th><th>硬さ</th><th>種類</th><th>等級</th></tr>
<tr><td>六角ボルト
JIS B 1180</td><td>並</td><td>Ⅰ種
8g</td><td>設計図による</td><td></td><td>JIS B 0205
ﾒｰﾄﾙ並目ねじ</td><td>JIS B 0209
Ⅰ種
8g</td></tr>
<tr><td>六角ナット
JIS B 1181</td><td>並</td><td>Ⅰ種
7H</td><td>設計図による</td><td></td><td>JIS B 0205
ﾒｰﾄﾙ並目ねじ</td><td>JIS B 0209
Ⅰ種
7H</td></tr>
<tr><td>平座金
JIS B 1256</td><td>並丸</td><td></td><td></td><td>設計図による</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td><td>
ボルト・ナットおよび座金の材料強度は次表による規格品とする。
<table>
<tr><th rowspan="2"></th><th rowspan="2">規格</th><th colspan="3">等級</th><th colspan="2">ねじ</th></tr>
<tr><th>仕上程度</th><th>ネジ精度</th><th>機械的性質</th><th>種類</th><th>等級</th></tr>
<tr><td>六角ボルト</td><td>六角ボルト
JIS B 1180</td><td>並</td><td>Ⅰ種8ｇ</td><td>設計図による</td><td>JIS B 0205
ﾒｰﾄﾙ並目ネ</td><td>JIS B 0209Ⅰ種8g</td></tr>
<tr><td>六角ナット</td><td>六角ナット
JIS B 1181</td><td>並</td><td>Ⅰ種7H</td><td>設計図による</td><td>JIS B 0205
ﾒｰﾄﾙ並目ネ</td><td>JIS B 0209Ⅰ種7H</td></tr>
<tr><td>座金</td><td>平座金JISB 1256</td><td>並丸</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>鋼管
その他</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

表－２．７（５）　材料

<table>
<tr><th>企業体名</th><th>京都市交通局</th><th>仙台市交通局</th><th>横浜市交通局</th><th>大阪市交通局</th></tr>
<tr><td>設計基準</td><td></td><td></td><td>横浜市高速鉄道４号線土木施設設計基準
第４編シールドトンネル
平成１２年１０月</td><td>大阪市高速電気軌道第７号線
シールドトンネル設計基準（案）
平成５年４月</td></tr>
<tr><td>製作仕様書</td><td>鉄筋コンクリートセグメント製作仕様書（案）
昭和６０年２月</td><td>土木工事標準仕様書　シールド編
昭和５６年１０月</td><td>高速鉄道建設土木工事標準仕様書 セグメント製作編
平成１２年４月</td><td>地下工事標準仕様書
平成１２年</td></tr>
<tr><td>鋼管
その他</td><td>ボルト孔保持用パイプ
JIS G 3444　一般構造用炭素鋼鋼管　２種 STK 41
の規格品とする。

注入用パイプ
JIS G 3445　機械構造用炭素鋼鋼管 13種A
ねじは　JIS B 0216 ﾒｰﾄﾙ台形ねじ

注入孔栓
形状は２０寸用30度台形ねじ樹脂プラグ(ABS)同等品以上とし、ゴムパッキンは外径65Φ(R.S.S.B60％,S.B.R.40％)同等品以上とする。</td><td>ボルト孔保持用パイプ
JIS G 3444　一般構造用炭素鋼鋼管
JIS G 3445　機械構造用炭素鋼鋼管
JIS G 3452　配管用炭素鋼鋼管</td><td>注入孔パイプ
JIS G 3445　機械構造用炭素鋼鋼管 13種Ａ(STKM13A)
の規格品とし、ねじの形状は JIS B 0216 ﾒｰﾄﾙ台形ねじに適合するものとする。

注入孔栓
「設計図」に示す形状物性を有するスチレン系樹脂「ABS樹脂製又は鋳鉄（FCD500)」とし、ねじの形状は JIS B 0216 ﾒｰﾄﾙ台形ねじに適合するものとする。

ボルト孔止水用パッキング材
合成樹脂担当品を使用すること。

インサートボルト
メーカー選定にあたっては見本等を提示の上監督員の承諾を得るものとする。</td><td>シール材について
<table><tr><th></th><th>主シール</th><th>反対面受けシール</th></tr><tr><td>内側シール</td><td>クロロプレーン系弾性芯材と未加硫ブチレンゴムとの複合体</td><td>未加硫ブチレンゴムシール材</td></tr><tr><td>外側シール</td><td>水膨張性シール材（３倍膨潤型）</td><td>水膨張性シール材（３倍膨潤型）</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>溶接棒および
溶接ワイヤー</td><td></td><td></td><td>JIS Z 3211　軟鋼用被覆アーク溶接棒
JIS Z 3212　高張力鋼用被覆アーク溶接棒
JIS Z 3311　鋼サブマージアーク溶接材料
JIS Z 3312　炭酸ガス溶接用鋼ワイヤ</td><td>規定なし</td></tr>
</table>

表－２．７（６）　材料

<table>
<tr><td>企業体名</td><td>福岡市交通局</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>設計基準</td><td>福岡市高速鉄道３号線土木構造物設計仕様書
平成７年１１月</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>製作仕様書</td><td>鉄筋コンクリートセグメント製作仕様書
平成８年８月</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><th>設計基準強度 (N/mm²)</th><th>スランプの範囲 (cm)</th><th>空気量の範囲 (%)</th><th>粗骨材最大寸法 (mm)</th><th>セメントの種類</th><th>骨材の種類</th><th>使用区分</th></tr>
<tr><td>48</td><td>3</td><td>4</td><td>25</td><td>N</td><td>普通</td><td>セグメント</td></tr>
<tr><td>21</td><td>15±2.5</td><td>4</td><td>40,20</td><td>N</td><td>普通</td><td>二次覆工</td></tr>
</table>
</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>鋼材</td><td>
<table>
<tr><th>種別</th><th>規格</th><th></th><th>記号</th><th>降伏点 (N/mm2)</th><th>引張強さ (N/mm2)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">鋼材</td><td>JIS G 3101一般構造用圧延鋼材</td><td>２種</td><td>SS400</td><td>厚さにより220～250以上</td><td>410～520</td></tr>
<tr><td>JIS G 3106溶接構造用圧延鋼材</td><td>２種</td><td>SS490</td><td>厚さにより300～３３０以上</td><td>500～620</td></tr>
</table>
</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>鋼棒
および
鋼線</td><td>鉄筋は JIS G 3112 に適合したものを使用する。
鉄筋の性質は以下に示す通り
<table>
<tr><th colspan="2">規格</th><th>記号</th><th>降伏点 (N/mm²)</th><th>引張強さ (N/mm²)</th></tr>
<tr><td rowspan="4">JIS G 3112
鉄筋コンクリート用
棒鋼</td><td>丸鋼</td><td>SR 295</td><td>300以上</td><td>450～610</td></tr>
<tr><td rowspan="3">異形棒鋼</td><td>SD 295A</td><td>300以上</td><td>450～610</td></tr>
<tr><td>SD 295B</td><td>300～400</td><td>450以上</td></tr>
<tr><td>SD 345</td><td>350～450</td><td>500以上</td></tr>
</table>
</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>ボルト
ナットおよび
座金</td><td>ボルトは JIS B 1180 適合したものを使用する。
<table>
<tr><th colspan="2">強度区分</th><th>4·6</th><th>8·8</th><th>10·9</th><th>12·9</th></tr>
<tr><td rowspan="2">引張強さ N/mm²</td><td>最小値</td><td>400</td><td>800</td><td>1000</td><td>1200</td></tr>
<tr><td>最大値</td><td>550</td><td>1000</td><td>1200</td><td>1400</td></tr>
<tr><td colspan="2">降伏点 N/mm²</td><td>240</td><td>610</td><td>900</td><td>1080</td></tr>
</table>
座金は JIS B 1256 ボルトの強度に適したものを使用する。
<table>
<tr><th>硬さ区分</th><th colspan="2">座金の区分</th><th>ボルトの強度区分</th></tr>
<tr><td>10H</td><td rowspan="3">丸座金</td><td>角座金</td><td>4·6</td></tr>
<tr><td>14H</td><td rowspan="2"></td><td>4·6</td></tr>
<tr><td>22H</td><td>8·8,10·9</td></tr>
</table>
</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>鋼管
その他</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

表－２．８（１）　許容応力度

<table>
<tr><td>企業体名</td><td>土木学会.</td><td>土木学会</td><td>土木学会・日本下水道協会</td><td>帝都高速度交通営団</td></tr>
<tr><td>設計基準
製作仕様書</td><td>トンネル標準示方書
（シールド編）・同解説
昭和６１年版</td><td>トンネル標準示方書
（シールド工法編）・同解説
平成８年版</td><td>シールド工事用標準セグメント
平成２年４月</td><td>シールドトンネル(セグメント)の設計指針(案)
平成１０年１０月
鉄筋コンクリートセグメント製作示方書
平成１２年８月</td></tr>
<tr><td>コンクリート</td><td>
<table>
<tr><th>場所打ちコンクリート</th><th>セグメント</th></tr>
<tr><td>σca≦σck/3</td><td>σca≦σck/2.8</td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><td colspan="2">設計基準強度　σck</td><td>42</td><td>45</td><td>48</td><td>51</td><td>54</td></tr>
<tr><td colspan="2">許容曲げ圧縮応力度　σca</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr>
<tr><td colspan="2">許容せん断応力度　曲げによるせん断　τa</td><td>0.71</td><td>0.73</td><td>0.74</td><td>0.76</td><td>0.77</td></tr>
<tr><td colspan="2">許容付着応力度　（異形鉄筋）　τo</td><td>2</td><td>2.1</td><td>2.1</td><td>2.2</td><td>2.2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">許容支圧応力度</td><td>全面載荷の場合　σba</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td></tr>
<tr><td>局部載荷の場合　σba</td><td colspan="5">σba≦1/2.1+σck/√(A/Aa)　ただしσba≦σck</td></tr>
</table>
単位　：　N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><td>設計基準強度　f´ck N/mm²</td><td>42</td><td>45</td><td>48</td></tr>
<tr><td>許容曲げ圧縮応力度　σca</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td></tr>
</table>
</td><td>
・セグメントに用いるコンクリート
<table>
<tr><td colspan="2">設計基準強度　σck</td><td>48</td><td>51</td></tr>
<tr><td colspan="2">許容曲げ圧縮応力度　σca</td><td>17</td><td>18</td></tr>
<tr><td rowspan="2">せん断応力度　τa</td><td>斜引張筋の計算をしない場合</td><td>0.55</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>斜引張筋の計算をする場合</td><td>2.4</td><td>2.5</td></tr>
</table>
単位　：　N/mm²

・取付覆工、二次覆工鉄筋コンクリート
<table>
<tr><td colspan="2">設計基準強度　σck</td><td>24</td></tr>
<tr><td colspan="2">許容曲げ圧縮応力度　σca</td><td>9</td></tr>
<tr><td rowspan="2">許容せん断応力度　τa</td><td>斜引張筋の計算をしない場合</td><td>0.45</td></tr>
<tr><td>斜引張筋の計算をする場合</td><td>2</td></tr>
</table>
単位　：　N/mm²
</td></tr>
<tr><td>鉄筋</td><td>
<table>
<tr><th>鉄筋の種類</th><th>許容引張応力度</th></tr>
<tr><td>SR24</td><td>140</td></tr>
<tr><td>SR30</td><td>160</td></tr>
<tr><td>SD24</td><td>140</td></tr>
<tr><td>SD30</td><td>180</td></tr>
<tr><td>SD35</td><td>200</td></tr>
<tr><td>SD40</td><td>210</td></tr>
</table>
単位：N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><th>鉄筋の種類</th><th>許容引張応力度</th></tr>
<tr><td>SR235</td><td>140</td></tr>
<tr><td>SR295</td><td>180</td></tr>
<tr><td>SD295 A, B</td><td>180</td></tr>
<tr><td>SD345</td><td>200</td></tr>
<tr><td>SD390</td><td>220</td></tr>
</table>
単位：N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><th>鉄筋の種類</th><th>引張強度</th><th>許容引張応力度</th></tr>
<tr><td>SR24
(SR235)</td><td>390～530</td><td>140</td></tr>
<tr><td>SR30
(SR295)</td><td>450～610</td><td>160</td></tr>
<tr><td>SD230 A
(SD295A)</td><td>450～610</td><td>180</td></tr>
<tr><td>SD35
(SD345)</td><td>500以上</td><td>200</td></tr>
<tr><td>SD40
(SD390)</td><td>570以上</td><td>210</td></tr>
</table>
単位：N/mm²
</td><td>
SD345を標準使用とする。ただしΦ10はSD295とする。
<table>
<tr><th>鉄筋の種類</th><th>引張および圧縮応力度</th></tr>
<tr><td>SD345</td><td>180</td></tr>
<tr><td>SD295</td><td>160</td></tr>
</table>
単位：N/mm²
</td></tr>
</table>

表－２．８（２）　許容応力度

土木学会.

設計基準：トンネル標準示方書（シールド編）・同解説　昭和６１年版

製作仕様書：トンネル標準示方書（シールド編）・同解説　昭和６１年版

鋼材

鋼材の種類	引張強度	許容応力度			
		引張	圧縮	曲げ	せん断
SS41（SS400）	410～520	140	140	140	80
SM41A（SM400A）	410～520	140	140	140	80
SM50A（SM490A）	500～620	190	190	190	110
SM50Y	500～620	210	210	210	120

単位：N/mm²

球状鋼鋳鉄

種類	FCD 450	FCD 500
許容曲げ引張応力度	150	160
許容曲げ圧縮応力度	180	190
許容せん断応力度	110	120

単位：N/mm²

炭素鋼鋳鋼

種類	SC 46
許容曲げ引張応力度	140
許容曲げ圧縮応力度	140
許容せん断応力度	80

単位：N/mm²

ボルト

鋼材の種類	4.6	8.8	10.9	12.9
許容引張応力度	120	240	300	330
許容引張応力度	80	150	190	210

単位：N/mm²

土木学会

設計基準：トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説　平成８年版

製作仕様書：トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説　平成８年版

鋼材

鋼材の種類	許容応力度			
	引張（純断面につき）	圧縮（総断面につき）	せん断	支圧
	軸方向応力度 曲げ応力度	軸方向応力度 曲げ応力度	軸方向応力度 曲げ応力度	総断面につき 鋼板と鋼板
SS400 SM400 SMA400 STK400	140	140	140	80 220
SM490 STK490	215	215	215	125 300
SM490Y	240	240	240	140 324

単位：N/mm²

球状鋼鋳鉄

種類	FCD 450	FCD 500
許容曲げ引張応力度	170	190
許容曲げ圧縮応力度	200	220
許容せん断応力度	110	130

単位：N/mm²

ボルト

鋼材の種類	4-6	6-8	8-8	10-9	12-9
許容引張応力度	120	210	290	380	430
許容せん断応力度	90	150	200	270	310

単位：N/mm²

土木学会・日本下水道協会

設計基準：シールド工事用標準セグメント　平成２年４月

製作仕様書：シールド工事用標準セグメント　平成２年４月

鋼材

鋼材の種類	引張強度	許容応力度			
		引張	圧縮	曲げ	せん断
SS41（SS400）	410～520	140	140	140	80
SM41A（SM400A）	410～520	140	140	140	80
SM50A（SM490A）	500～620	190	190	190	110

単位：N/mm²

ボルト

鋼材の種類	4-6	6-8	8-8	10-9
許容引張応力度	120	180	240	300
許容引張応力度	80	110	150	190
降伏点または耐力	245	489	673	959
引張強度	408	612	846	1060

単位：N/mm²

帝都高速度交通営団

設計基準：シールドトンネル（セグメント）の設計指針（案）　平成１０年１０月

製作仕様書：鉄筋コンクリートセグメント製作示方書　平成１２年８月

鋼材

鋼材の種類	許容応力度			
	引張	圧縮	曲げ	せん断
SS400	140	140	140	80
SM400	140	140	140	80
SM490	190	190	190	110
SM490Y	210	210	210	120

単位：N/mm²

球状鋼鋳鉄

種類	FCD 450	FCD 500
許容曲げ引張応力度	150	160
許容曲げ圧縮応力度	180	190
許容せん断応力度	110	120

単位：N/mm²

炭素鋼鋳鋼

種類	SCW480
許容曲げ引張応力度	160
許容曲げ圧縮応力度	170
許容せん断応力度	100

単位：N/mm²

ボルト

鋼材の種類	鋼・耐候性鋼				球状黒鉛鋳鉄
	4.6	6.8	8.8	10.9	SCD40
許容引張応力度	120	180	240	300	140
許容引張応力度	80	110	150	190	80

単位：N/mm²

表－２．８（３）　許容応力度

<table>
<tr><td>企業体名</td><td>東京電力株式会社</td><td>東京都交通局</td><td>名古屋市交通局</td></tr>
<tr><td>設計基準</td><td>地中線土木構造物設計マニュアル
平成９年９月</td><td>東京都地下高速電車１２号線
シールドトンネル（覆工）
平成８年３月</td><td>シールドトンネル設計基準(案)
平成４年１０月</td></tr>
<tr><td>製作仕様書</td><td></td><td>土木工事標準仕様書
平成１０年４月</td><td>土木工事標準仕様書
昭和６０年１１月</td></tr>
<tr><td>コンクリート</td><td>
<table>
<tr><td colspan="2">設計基準強度</td><td>σck</td><td>42</td><td>45</td><td>48</td><td>51</td><td>54</td></tr>
<tr><td colspan="2">許容曲げ圧縮応力度</td><td>σca</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">許容せん断応力度</td><td>曲げによるせん断</td><td>τa</td><td>0.71</td><td>0.73</td><td>0.74</td><td>0.76</td><td>0.77</td></tr>
<tr><td>異形鉄筋</td><td>τa</td><td>2</td><td>2.1</td><td>2.1</td><td>2.2</td><td>2.2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">許容支圧応力度</td><td>全面載荷の場合</td><td>σba</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td></tr>
<tr><td>局部載荷の場合</td><td>σba</td><td colspan="5">σba≦1/2.5*σck*√(A/Aa)　ただしσba≦σck</td></tr>
</table>
単位　：　N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><td></td><td></td><td>セグメント用</td><td>二次覆工用</td></tr>
<tr><td>圧縮強度</td><td>σck</td><td>48</td><td>18</td></tr>
<tr><td>許容曲げ圧縮応力度</td><td>σca</td><td>17</td><td>7</td></tr>
<tr><td>許容せん断応力度</td><td>曲げによるせん断</td><td>0.63</td><td>0.35</td></tr>
<tr><td>許容付着応力度</td><td>異形棒鋼</td><td>2.16</td><td>1.4</td></tr>
<tr><td>許容支圧応力度</td><td>σca≦1/3*σck</td><td>16</td><td>6</td></tr>
</table>
単位　：　N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><td>設計基準強度</td><td>σck</td><td>48</td></tr>
<tr><td>許容曲げ圧縮応力度</td><td>σca</td><td>17</td></tr>
<tr><td>許容せん断応力度</td><td>τa</td><td>0.63</td></tr>
<tr><td>許容支圧応力度</td><td></td><td>14</td></tr>
</table>
単位　：　N/mm²
</td></tr>
<tr><td>鉄筋</td><td>
<table>
<tr><th>鉄筋の種類</th><th>許容引張応力度</th></tr>
<tr><td>SR235</td><td>140</td></tr>
<tr><td>SR295</td><td>180</td></tr>
<tr><td>SD295</td><td>180</td></tr>
<tr><td>SD345</td><td>200</td></tr>
<tr><td>SD390</td><td>210</td></tr>
</table>
単位：N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><th>鉄筋の種類</th><th>許容引張応力度
および
許容圧縮応力度</th></tr>
<tr><td>SR235</td><td>140</td></tr>
<tr><td>SR295</td><td>180</td></tr>
<tr><td>SD295</td><td>180</td></tr>
<tr><td>SD345</td><td>200</td></tr>
</table>
単位：N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><th>鉄筋の種類</th><th>引張応力度
および
圧縮応力度</th><th>降伏点強度</th></tr>
<tr><td>SR235</td><td>140</td><td>240</td></tr>
<tr><td>SR295</td><td>180</td><td>300</td></tr>
<tr><td>SD345</td><td>200</td><td>350</td></tr>
</table>
単位：N/mm²
</td></tr>
</table>

表－２．８（４）　許容応力度

<table>
<tr><td>企業体名</td><td>東京電力株式会社</td><td>東京都交通局</td><td>名古屋市交通局</td></tr>
<tr><td>設計基準</td><td>地中線土木構造物設計マニュアル
平成９年９月</td><td>東京都地下高速電車１２号線
シールドトンネル（覆工）
平成８年３月</td><td>シールドトンネル設計基準(案)
平成４年１０月</td></tr>
<tr><td>製作仕様書</td><td></td><td>土木工事標準仕様書
平成１０年４月</td><td>土木工事標準仕様書
昭和６０年１１月</td></tr>
<tr><td>鋼材</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">鋼材の種類</td><td colspan="5">許容応力度</td></tr>
<tr><td colspan="2">引張（純断面につき）
軸方向応力度</td><td colspan="2">圧縮（総断面につき）
軸方向応力度</td><td>せん断
軸方向応力度</td></tr>
<tr><td>SS400
SM400
SM400A
STK400</td><td colspan="2">160</td><td colspan="2">160</td><td>160</td></tr>
<tr><td>SM490
STK490</td><td colspan="2">215</td><td colspan="2">215</td><td>215</td></tr>
<tr><td>SM490Y</td><td colspan="2">240</td><td colspan="2">240</td><td>240</td></tr>
</table>
単位：　N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">鋼材の種類</td><td colspan="4">許容応力度</td></tr>
<tr><td>引張</td><td>圧縮</td><td>曲げ</td><td>せん断</td></tr>
<tr><td>SS400</td><td>160</td><td>160</td><td>160</td><td>90</td></tr>
<tr><td>SM400A</td><td>160</td><td>160</td><td>160</td><td>90</td></tr>
<tr><td>SM490A</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td><td>125</td></tr>
<tr><td>SM490Y</td><td>240</td><td>240</td><td>240</td><td>140</td></tr>
</table>
単位：　N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">鋼材の種類</td><td colspan="4">許容応力度</td></tr>
<tr><td>引張</td><td>圧縮</td><td>曲げ</td><td>せん断</td></tr>
<tr><td>SS400</td><td>140</td><td>140</td><td>140</td><td>80</td></tr>
<tr><td>SM400</td><td>140</td><td>140</td><td>140</td><td>80</td></tr>
<tr><td>SM490A</td><td>190</td><td>190</td><td>190</td><td>110</td></tr>
<tr><td>SM490Y(A,B)</td><td>210</td><td>210</td><td>210</td><td>120</td></tr>
</table>
単位：　N/mm²
</td></tr>
<tr><td>球状黒鉛鋳鉄</td><td></td><td>
<table>
<tr><td>種類</td><td>FCD 450</td><td>FCD 500</td></tr>
<tr><td>許容曲げ引張応力度</td><td>150</td><td>160</td></tr>
<tr><td>許容曲げ圧縮応力度</td><td>180</td><td>190</td></tr>
<tr><td>許容せん断応力度</td><td>110</td><td>120</td></tr>
</table>
単位：N/mm²
</td><td></td></tr>
<tr><td>炭素鋼鋳鋼</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>ボルト</td><td>
<table>
<tr><td>鋼材の種類</td><td>4･6</td><td>6･8</td><td>8･8</td><td>10･9</td><td>12･9</td></tr>
<tr><td>許容引張応力度</td><td>150</td><td>262</td><td>362</td><td>475</td><td>537</td></tr>
<tr><td>許容せん断応力度</td><td>90</td><td>150</td><td>200</td><td>270</td><td>310</td></tr>
</table>
単位：　N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><td>鋼材の種類</td><td>4･6</td><td>8･8</td><td>10･9</td><td>12･9</td></tr>
<tr><td>許容引張応力度</td><td>120</td><td>240</td><td>300</td><td>330</td></tr>
<tr><td>許容せん断応力度</td><td>80</td><td>150</td><td>190</td><td>210</td></tr>
</table>
単位：　N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><td>鋼材の種類</td><td>4･6</td><td>8･8</td><td>10･9</td><td>12･9</td></tr>
<tr><td>許容引張応力度</td><td>120</td><td>240</td><td>300</td><td>330</td></tr>
<tr><td>許容せん断応力度</td><td>80</td><td>150</td><td>190</td><td>210</td></tr>
</table>
単位：　N/mm²
</td></tr>
</table>

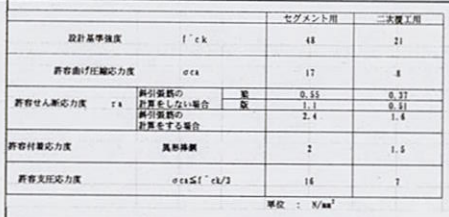
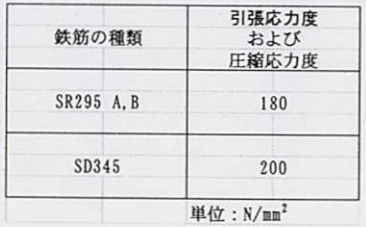
表－２．８（５）　許容応力度

<table>
<tr><th>企業体名</th><th>京都市交通局</th><th>仙台市交通局</th><th>横浜市交通局</th><th>大阪市交通局</th></tr>
<tr><td>設計基準</td><td></td><td></td><td>横浜市高速鉄道４号線土木施設設計基準
第４編シールドトンネル
平成１２年１０月</td><td>大阪市高速電気軌道第７号線
シールドトンネル設計基準（案）
平成５年４月</td></tr>
<tr><td>製作仕様書</td><td>鉄筋コンクリートセグメント製作仕様書（案）
昭和６０年２月</td><td>土木工事標準仕様書　シールド編
昭和５６年１０月</td><td>高速鉄道建設 土木工事標準仕様書　セグメント製作編
平成１２年４月</td><td>地下工事標準仕様書
平成１２年</td></tr>
<tr><td>コンクリート</td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><td colspan="2">設計基準強度</td><td>σck</td><td>42</td><td>45</td><td>48</td></tr>
<tr><td colspan="2">許容曲げ圧縮応力度</td><td>σca</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr>
<tr><td colspan="2">許容せん断応力度</td><td>τa</td><td>0.71</td><td>0.72</td><td>0.74</td></tr>
<tr><td rowspan="2">許容付着応力度</td><td>異形丸鋼</td><td>τo</td><td>2</td><td>2.1</td><td>2.1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">許容支圧応力度</td><td>全面載荷の場合</td><td>σba</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td></tr>
<tr><td>局部載荷の場合</td><td>σba</td><td colspan="3">σba ≦(1/2.8)σck√(A/Aa)
A:コンクリートの支圧分布面積、Aa:支圧を受ける面積</td></tr>
</table>
単位　：N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><td>設計基準強度</td><td>σck</td><td>４８　N／mm²</td></tr>
<tr><td>許容曲げ圧縮応力度</td><td>σca</td><td>１８　〃</td></tr>
<tr><td>許容せん断応力度</td><td>Ta</td><td>０．７４　〃</td></tr>
<tr><td>許容付着応力度</td><td>To</td><td>２．１　〃</td></tr>
<tr><td>許容支圧応力度</td><td>σba</td><td>１７　〃</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>鉄筋</td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><th>鉄筋の種類</th><th>引張応力度</th></tr>
<tr><td>SR235</td><td>140</td></tr>
<tr><td>SR295A</td><td>180</td></tr>
<tr><td>SD345</td><td>200</td></tr>
</table>
単位：N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><th>鉄筋の種類</th><th>引張応力度および圧縮応力度</th></tr>
<tr><td>ＳＤ２９５ＡＢ</td><td>１８０Ｎ／mm²</td></tr>
<tr><td>ＳＤ３４５</td><td>２００　〃</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

表－２．８（６）　許容応力度

<table>
<tr><td>企業体名</td><td>京都市交通局</td><td>仙台市交通局</td><td>横浜市交通局</td><td>大阪市交通局</td></tr>
<tr><td>設計基準</td><td></td><td></td><td>横浜市高速鉄道４号線土木施設設計基準
第４編シールドトンネル
平成１２年１０月</td><td>大阪市高速電気軌道第７号線
シールドトンネル設計基準（案）
平成５年４月</td></tr>
<tr><td>製作仕様書</td><td>鉄筋コンクリートセグメント製作仕様書（案）
昭和６０年２月</td><td>土木工事標準仕様書　シールド編
昭和５６年１０月</td><td>高速鉄道建設 土木工事標準仕様書　セグメント製作編
平成１２年４月</td><td>地下工事標準仕様書
平成１２年</td></tr>
<tr><td>鋼材</td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">鋼材の種類</td><td colspan="5">許容応力度</td></tr>
<tr><td>引張</td><td>圧縮</td><td>曲げ</td><td>せん断</td><td>支圧</td></tr>
<tr><td>SS400</td><td>160</td><td>160</td><td>160</td><td>90</td><td>220</td></tr>
<tr><td>SM400</td><td>160</td><td>160</td><td>160</td><td>90</td><td>220</td></tr>
<tr><td>SM490</td><td>215</td><td>215</td><td>215</td><td>125</td><td>300</td></tr>
</table>
単位：　N/mm²
</td><td>規定なし</td></tr>
<tr><td>球状黒鉛鋳鉄</td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><td>種類</td><td>FCD500</td></tr>
<tr><td>許容曲げ引張応力度</td><td>１９０N／mm²</td></tr>
<tr><td>許容曲げ圧縮応力度</td><td>２２０　〃</td></tr>
<tr><td>許容せん断応力度</td><td>１３０　〃</td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><td>種類</td><td>FCD500</td></tr>
<tr><td>許容曲げ引張応力度</td><td>１９０N／mm²</td></tr>
<tr><td>許容曲げ圧縮応力度</td><td>２２０　〃</td></tr>
<tr><td>許容せん断応力度</td><td>１３０　〃</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>ボルト</td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><td>鋼材の種類</td><td>4･6</td><td>6･8</td><td>8･8</td><td>10･9</td><td>12･9</td></tr>
<tr><td>許容引張応力度</td><td>120</td><td>210</td><td>290</td><td>380</td><td>430</td></tr>
<tr><td>許容せん断応力度</td><td>90</td><td>150</td><td>200</td><td>270</td><td>310</td></tr>
</table>
単位：　N/mm²
</td><td>
<table>
<tr><td>鋼材の種類</td><td>8.8</td><td>10.9</td></tr>
<tr><td>許容引張応力度</td><td>２９０N／mm²</td><td>３８０N／mm²</td></tr>
<tr><td>許容せん断応力度</td><td>２００　〃</td><td>２７０　〃</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

表－２．８（７）　許容応力度

企業体名	福岡市交通局	鉄道総合技術研究所		
設計基準	福岡市高速鉄道３号線土木構造物設計仕様書 平成７年１１月	鉄道構造物等設計標準・同解説　シールドトンネル 平成９年７月		
製作仕様書	鉄筋コンクリートセグメント製作仕様書 平成８年８月			
コンクリート				
鉄筋				

鉄筋の種類	引張応力度 および 圧縮応力度
SR295 A,B	180
SD345	200

単位：N/mm²

鉄筋の種類	許容引張応力度
SR235	140
SR295	180
SD295 A,B	180
SD345	200
SD390	220

単位：N/mm²

表－２．８（８）　許容応力度

企業体名	福岡市交通局	鉄道総合技術研究所		
設計基準	福岡市高速鉄道３号線土木構造物設計仕様書 平成７年１１月	鉄道構造物等設計標準・同解説　シールドトンネル 平成９年７月		
製作仕様書	鉄筋コンクリートセグメント製作仕様書 平成８年８月			
鋼材	鋼材の種類 / 許容応力度 引張 / 圧縮 / 曲げ / せん断 SS400　160　160　160　90 SM400　160　160　160　90 SM490　215　215　215　125 単位：　N/mm²	鋼材の種類 / 許容応力度 引張（純断面につき）軸方向応力度 曲げ応力度 圧縮（純断面につき）軸方向応力度 曲げ応力度 せん断 軸方向応力度 曲げ応力度 支圧 純断面につき / 鉄筋上鉄筋 SS400 SM400 SMA400 STK400　160　160　160　90　220 SM490 STK490　215　215　215　125　300 SM490Y　240　240　240　140　336 単位：　N/mm²		
球状黒鉛鋳鉄		種類 / FCD 450 / FCD 500 許容曲げ引張応力度　170　190 許容曲げ圧縮応力度　200　220 許容せん断応力度　110　130 単位：N/mm²		
ボルト	鋼材の種類 / 4･6 / 8･8 / 10･9 / 12･9 許容引張応力度　120　240　300　330 許容引張応力度　80　150　190　210 単位：　N/mm²	鋼材の種類 / 4･6 / 8･8 / 10･9 許容引張応力度　120　240　300 許容引張応力度　80　150　190 単位：　N/mm²		

表－２．９　セグメントの分割

<table>
<tr><td>企業体名</td><td>土木学会.</td><td>土木学会</td><td>土木学会・日本下水道協会</td><td>東京電力株式会社</td></tr>
<tr><td>設計基準</td><td>トンネル標準示方書(シールド編)・同解説
昭和６１年版</td><td>トンネル標準示方書(シールド工法編)・同解説
平成８年版</td><td>シールド工事用標準セグメント
平成２年４月</td><td>地中線土木構造物設計マニュアル
平成９年９月</td></tr>
<tr><td>製作仕様書</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>(表2.15)コンクリート系平板形セグメントの形状･寸法
(単位:mm)
<table><tr><th>ｾｸﾞﾒﾝﾄﾘﾝｸﾞ外径</th><th>幅</th><th>厚さ</th><th>セグメントの分割</th></tr><tr><td>1800～2000</td><td>900</td><td>100
125</td><td>5分割</td></tr><tr><td>2150～3350</td><td>900</td><td>100
125
150</td><td>5分割</td></tr><tr><td>3550～4800</td><td>900</td><td>150
175
200</td><td>6分割</td></tr><tr><td>5100～6000</td><td>900</td><td>200
225</td><td>6分割</td></tr><tr><td>5100～6000</td><td>900</td><td>250
300</td><td>7分割</td></tr><tr><td>6300～6900</td><td>900</td><td>275
300</td><td>7分割</td></tr><tr><td>7250～8300</td><td>900</td><td>200
325
350</td><td>8分割</td></tr></table></td><td>(表2.15)コンクリート系平板形セグメントの形状･寸法
(単位:mm)
<table><tr><th>ｾｸﾞﾒﾝﾄﾘﾝｸﾞ外径</th><th>幅</th><th>厚さ</th><th>セグメントの分割</th></tr><tr><td>1800～2000</td><td>900
1000</td><td>100
125</td><td>5分割</td></tr><tr><td>2150～3350</td><td>900
1000</td><td>100(200)
125
150(225)</td><td>5分割</td></tr><tr><td>3550～4800</td><td>900
1000</td><td>125(225)
150
175(250)
200(275)</td><td>6分割</td></tr><tr><td>5100～6000</td><td>900
1000</td><td>175
200
225
250
275
300</td><td>6分割
7分割</td></tr><tr><td>(6300～6900)</td><td>900
1000</td><td>250
275
300</td><td>7分割</td></tr><tr><td>(7250～8300)</td><td>900
1000</td><td>275
300
325
350</td><td>8分割</td></tr></table>( )は、参考セグメント</td><td>1. セグメントリングは，シールドテール内の組み立てを考慮し，一般にキーセグメント（Kセグメント）を含めて５ピース以上に分割している。
2. 標準セグメントでは，1リングを5～8ピースに分割しリング構成は，A，BおよびKセグメントの３種からなる。</td><td>セグメントリング外径と分割数の関係
<table><tr><td>セグメントリング外径（mm）</td><td>1800～</td><td>2150～</td><td>3550～</td><td>4870～</td></tr><tr><td>分割数</td><td>5</td><td>5</td><td>6(5)*2</td><td>6</td></tr><tr><td>リング継手個数*1</td><td>8</td><td>13</td><td>16(10)*2</td><td>21</td></tr></table>*1 Kセグメントのリング継手個数を1個として、ボルトピッチを900mmとした場合の参考値　*2 等五分割セグメントの設計実績値</td></tr>
</table>

表－２．１０　養生

機関名	土木学会・日本下水道協会	帝都高速度交通公団	東京都交通局
基　準	シールド工事用標準セグメント 平成2年4月	鉄筋コンクリートセグメント製作示方書 平成12年8月	土木工事標準仕様書 平成１０年４月
	仕上げ及び養生 コンクリートの仕上げは，前置き時間を経過したのちに行う。一般には，仕上げとして木ごて(鏝)仕上げ又ははけ(刷毛)引き仕上げを行っているが，機械掘りシールドの工事用にはさらに金ごて仕上げを行っている。なお，裏込め注入圧等によってテールシールがコンクリート系セグメントの背面に強く押し付けられた状態でシールドが前進する場合，金ごて仕上げをしたコンクリート系セグメントでは，テールシールの摩耗減量が少なくなることが実験によって確かめられている。 コンクリートの硬化促進のために，一般に常圧蒸気養生が行われている。 蒸気養生を行う場合の注意事項は次の通りである。 (1)蒸気養生は，コンクリートの長期材令における強度低下等，有害な影響を与えないように十分な前置き時間を経過したのち開始する。 (2)温度の上昇は，１時間につき20℃以下の割合とし最高温度は65℃とする。 (3)養生温度は徐々に下げ，外気との温度差がほぼなくなったときに脱型する。 ※このほか養生についてはコンクリート標準示方書（施工編）24章(S61)によるものとする。	養生 1.促進養生を行う場合は，コンクリートにひび割れ・はく離・変形・長期材令における強度低下等の有害な影響を与えないように注意し，その方法については監督員の承諾を得るものとする。 2.常圧蒸気養生を行う場合の注意事項は次の通りである (1)前養生時間は２時間以上とする。 (2)温度上昇速度は１時間当たり20℃以下とする。 (3)最高温度は65℃以下とする。 3.加圧蒸気養生を行う場合の注意事項は次の通りである (1)コンクリート打設後速やかに800～1000kN/m² で加圧すること。 (2)加圧を保持した状態で高温の蒸気養生を行うこと 4.脱型後は，セグメント表面の温度と水温との温度差が30℃以内になってから水中養生を行うものとする。 5.水中養生期間は7日間を標準とするが，設計基準強度（f′ck）の80%の強度が発現し監督員の承諾を得た場合は期間を短縮することができる。 ただし，その場合でも水中養生は3日間以上行うものとする。	脱型および養生 1.コンクリートの打込みが完了したセグメントは，脱型時まで室内養生を行うものとする。 2.蒸気養生その他の促進養生を行う場合は，コンクリートに有害な影響を与えないように注意するものとし，前養生時間は，２時間以上とする。 3.脱型は圧縮強度が15N/mm²に達した後に行うものとし，脱型後の養生は水中養生を行い，その期間は１週間を標準とする。 4.冬季の製作において，脱型されたセグメントの表面温度と養生水温差は30℃を超えてはならない。 5.水中養生終了後は大気温度の変動または乾燥に対して適切な処置を講じ，ひび割れ・欠けなどが生じないように管理しなければならない。 6.セグメントは，コンクリートの打込みから４週間以上経過したものでなければ現場に搬入してはならない。
機関名	名古屋市交通局	京都市交通局	横浜市交通局
基　準	工事標準仕様書 昭和60年11月	鉄筋コンクリートセグメント 製作仕様書（案） 昭和60年2月	高速鉄道建設 土木工事標準仕様書　セグメント製作編 平成１２年４月
	養生 1.脱型までの促進養生として蒸気養生を行う場合は，その養生温度，養生期間等の管理に十分注意しコンクリートにひび割れ・はく離・変形・長期材令における強度低下等の有害な影響を与えないものとする。 2.脱型後の養生は，１週間以上水中養生を行うものとしその後の大気中の養生は，温度変化，乾燥に対して適切な措置を講ずるものとする。 3.工場での養生期間は４週間以上とする。	帝高速度交通営団「鉄筋コンクリートセグメント製作示方書(H4)」に準拠。 ※追記事項 2.蒸気養生を行う場合の注意事項 4)養生室の温度は，これを徐々に下げ，外気の温度と大差がないようになってから，製品を取り出すこと。	脱型および養生 1.コンクリートの打込みが完了したセグメントは，脱型時まで室内養生を行うものとする。 2.脱型は圧縮強度が15N/mm²に達した後に行うものとし，脱型後の養生は水中養生を行い，その期間は１週間を標準とする。ただし，設計基準強度（σck）の80%の強度が発現し監督員の承諾を得た場合は水中養生期間を3日間まで　短縮することができる。その後は，大気温度の変動または乾燥に対して適切な措置を講じるものとする。　。 3.常圧蒸気養生を行う場合の注意事項は次の通りである (1)前養生時間は２時間以上とする。 (2)温度上昇速度は１時間当たり20℃以下とする。 (3)最高温度は65℃以下とする。 3.加圧蒸気養生を行う場合の注意事項は次の通りである (1)コンクリート打設後速やかに800～1000kN/m² で加圧すること。 (2)加圧力を保持した状態で高温の蒸気養生を行うこと。 4.脱型後は，セグメント表面の温度と水温との温度差が30℃以内になったら水中養生を行うものとする。

表－２．１１（１）　セグメントの寸法精度

<table>
<tr><td>機関名</td><td>土木学会</td><td>土木学会</td><td>土木学会・日本下水道協会</td><td>帝都高速度交通営団</td></tr>
<tr><td>基　準</td><td>トンネル標準示方書（シールド編）・同解説
昭和61年版</td><td>トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説
平成8年版</td><td>シールド工事用標準セグメント
平成２年４月</td><td>鉄筋コンクリートセグメント製作示方書
平成12年8月</td></tr>
<tr><td></td><td>表－セグメント寸法の許容差
<table><tr><td colspan="2">項　　目</td><td colspan="4">寸法の許容差(mm)</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント厚さ</td><td colspan="4">+5.0～-1.0</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント幅</td><td colspan="4">±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">弧　　長</td><td colspan="4">±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">ボルト孔ピッチ</td><td colspan="4">±1.0</td></tr><tr><td rowspan="3">水平取組時の真円度</td><td>外径(2R)mの区分</td><td>2≦2R</td><td>4≦2R<6</td><td>6≦2R<8</td><td>8≦2R<12</td></tr><tr><td>ボルトピッチサークル径</td><td>±7.0</td><td>±10.0</td><td>±10.0</td><td>±15.0</td></tr><tr><td>外径</td><td>±7.0</td><td>±10.0</td><td>±15.0</td><td>±20.0</td></tr></table></td><td>表－セグメント寸法の許容差
<table><tr><td colspan="2">項　　目</td><td colspan="4">寸法の許容差(mm)</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント厚さ</td><td colspan="4">+5.0～-1.0</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント幅</td><td colspan="4">±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">弧　　長</td><td colspan="4">±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">ボルト孔ピッチ</td><td colspan="4">±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">各部の肉厚</td><td colspan="4">-1.0</td></tr><tr><td rowspan="3">水平取組時の真円度</td><td>外径(2R)mの区分</td><td>2≦2R</td><td>4≦2R<6</td><td>6≦2R<8</td><td>8≦2R<10</td></tr><tr><td>ボルトピッチサークル径</td><td>±7.0</td><td>±10.0</td><td>±10.0</td><td>±15.0</td></tr><tr><td>外径</td><td>±7.0</td><td>±10.0</td><td>±15.0</td><td>±20.0</td></tr></table></td><td>表－セグメント寸法の許容差
<table><tr><td colspan="2">項　　目</td><td colspan="3">寸法の許容差(mm)</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント厚さ</td><td colspan="3">+5.0～-1.0</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント幅</td><td colspan="3">±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">弧　　長</td><td colspan="3">±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">ボルト孔ピッチ</td><td colspan="3">±1.0</td></tr><tr><td rowspan="3">水平取組時の真円度</td><td>外径の区分</td><td>1800～3800</td><td>4050～5700</td><td>6000</td></tr><tr><td>ボルトピッチサークル径</td><td>±7.0</td><td>±10.0</td><td>±10.0</td></tr><tr><td>外径</td><td>±7.0</td><td>±10.0</td><td>±15.0</td></tr></table></td><td>表－セグメント寸法の許容差
<table><tr><td colspan="2">項　　目</td><td colspan="2">寸法の許容差(mm)</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント高さ及び背面厚</td><td colspan="2">+3.0～-0</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント幅</td><td colspan="2">±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">長さ（弦長）</td><td colspan="2">+3.0～-2.0</td></tr><tr><td colspan="2">ボルト孔ピッチ</td><td colspan="2">±1.0</td></tr><tr><td rowspan="3">仮組立時の真円度</td><td>外径の区分</td><td>外径8m未満</td><td>外径8m以上</td></tr><tr><td>ボルトピッチサークル径</td><td>±10.0</td><td>±15.0</td></tr><tr><td>外径</td><td>±15.0</td><td>±20.0</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>機関名</td><td>東京都交通局</td><td>名古屋市交通局</td><td>京都市交通局</td><td>横浜市交通局</td></tr>
<tr><td>基　準</td><td>土木工事標準仕様書
平成１０年４月</td><td>土木工事標準仕様書
昭和60年11月</td><td>鉄筋コンクリートセグメント
製作仕様書（案）
昭和60年2月</td><td>高速鉄道建設土木工事標準仕様書
セグメント製作編
平成12年4月</td></tr>
<tr><td></td><td>表－セグメント寸法の許容差
<table><tr><td colspan="2">項　　目</td><td>寸法の許容差(mm)</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント桁高</td><td>+5.0～-0.0</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント幅</td><td>±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">弧　　長</td><td>±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">ボルト孔ピッチ</td><td>±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">各部の肉厚</td><td>-0.0</td></tr></table>注１）局部的な各部の肉厚減少の限界は，-1.0mmとする。
２）これは，単線および複線シールドトンネルに適用する。</td><td>表－セグメント寸法の許容差
<table><tr><td colspan="2">項　　目</td><td>寸法の許容差(mm)</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント厚さ</td><td>-0.0</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント幅</td><td>±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">弧　　長</td><td>±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">ボルト孔ピッチ</td><td>±1.0</td></tr><tr><td rowspan="2">水平取組時の真円度</td><td>ボルトピッチサークル径</td><td>±10.0</td></tr><tr><td>外径</td><td>±15.0</td></tr></table></td><td>表－セグメント寸法の許容差
<table><tr><td colspan="2">項　　目</td><td>寸法の許容差(mm)</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント厚さ</td><td>+5.0～-0.0</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント幅</td><td>±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">弧　　長</td><td>±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">ボルト孔ピッチ</td><td>±1.0</td></tr><tr><td rowspan="2">水平取組時の真円度</td><td>ボルトピッチサークル径</td><td>±10.0</td></tr><tr><td>外径</td><td>±15.0</td></tr></table></td><td>表－セグメント寸法の許容差
<table><tr><td colspan="2">項　　目</td><td colspan="2">寸法の許容差(mm)</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント厚さ</td><td colspan="2">+3.0～-1.0</td></tr><tr><td colspan="2">セグメント幅</td><td colspan="2">±1.0</td></tr><tr><td colspan="2">弦長</td><td colspan="2">+3.0、-2.0</td></tr><tr><td colspan="2">ボルト孔ピッチ</td><td colspan="2">±1.0</td></tr><tr><td rowspan="3">水平仮組立時の真円度</td><td>外径の区分</td><td>単線</td><td>複線</td></tr><tr><td>ボルトピッチサークル径</td><td>±10.0</td><td>±15.0</td></tr><tr><td>外径</td><td>±15.0</td><td>±20.0</td></tr></table></td></tr>
</table>

表－２．１１（２）　セグメントの寸法精度

<table>
<tr><td>機関名</td><td>鉄道総合技術研究所</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>基　準</td><td>鉄道構造物等設計標準・同解説　シールドトンネル
平成９年７月</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>寸法許容差表(完成時)(単位:mm)
<table>
<tr><td colspan="2">セグメント高さ</td><td colspan="3">+5.0
-1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">セグメント幅</td><td colspan="3">±1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">外径弧長</td><td colspan="3">±1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">ボルト孔ピッチ</td><td colspan="3">±1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">各部の肉厚</td><td colspan="3">-1.0</td></tr>
<tr><td rowspan="3">水平組立時の真円度</td><td>セグメントリングの大きさ外径(m)</td><td>Do＜6</td><td>6≦Do＜8</td><td>8≦Do</td></tr>
<tr><td>ボルトピッチサークル径</td><td>±10</td><td>±10</td><td>±15</td></tr>
<tr><td>外径</td><td>±10</td><td>±15</td><td>±20</td></tr>
</table></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>機関名</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>基　準</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

（2）　施工管理基準

シールド工事の施工管理内容について各事業者の工事仕様書等を収集し、その中から施工管理に関連する項目の抽出と管理の内容について整理を行った。結果を表－２.１２に示す。管理項目は、掘削・掘進関連と一次覆工関連の２つに大別することができ、管理基準の設定要素は施工条件，材料，出来形の３つに分類される。

表-2.12 シールド工法の施工管理内容

項目	内容			管理の目的		管理方法	現行の管理内容		管理基準設定と課題
掘削管理	切羽安定 泥水式	泥水圧管理		切羽の安定確保		切羽水圧計	地下水圧＋20kN/m²程度（目安値）		施工条件（施工深度，掘削地盤，地下水）により切羽制御が異なるため一義的に数値設定することは難しい
		泥水管理	泥水密度	泥水の安定性，土粒子保持能力の指標	切羽の安定と泥水の安定性の確保	・差圧式密度計（送排泥管） ・γ線密度計（送排泥管） ・重力式密度計	切羽の安定と地表面沈下のバランスにより判断	一義的な基準なし（経験的目安値）	
			粘度	泥水性状を知る指標		・ファンネル粘性 ・見かけ粘性（VGメータ） ・プラスティック粘度			
			イールドバリュー	泥水を良好な状態に維持する指標		・流動抵抗（VGメータ）			
			砂分含有率	泥幕形成の良否の指標		・スクリーンセット ・砂分計			
			ろ過特性			ろ過試験器			
	切羽安定 土圧式	切羽土圧管理		切羽の安定確保		土圧計	チャンバー内土圧の変動幅		
		添加剤注入		止水性の確保		コンクリートスランプ試験	5～12cm		材料特性として評価できる
	掘削土量管理 泥水式	送排泥流量		掘削土容積，偏差流量，掘削水中重量，掘削土乾砂量，掘削土換算体積の把握		電磁流速計	切羽の安定，掘削土の処理設備容量と地表面沈下のバランスにより判断	一義的な基準なし（経験的目安値）	施工条件および掘削土の処理設備の容量に左右されることから一義的に数値設定することは難しい
		送排泥密度				・差圧式密度計（送排泥管） ・γ線密度計（送排泥管） ・重力式密度計			
		土質試験結果				土粒子真比重，地山間隙比			
		その他				ジャッキスピード			
	土圧式	切羽部計測ないし後方計測		掘削度土の把握		土砂ホッパー荷重計測 ベルコン荷重計測 ベルコン排土断面計測			地盤条件の影響が大きいことから一義的に数値設定することは難しい
	シールド推進	泥水式 & 土圧式		シールド機推進の適正保持		掘進速度	掘削土の処理設備容量と地表面沈下のバランスにより判断		施工条件および掘削土の処理設備の容量に左右されることから一義的に数値設定することは難しい
						カッタートルク			
						ジャッキ推力			
						ジャッキストローク			
						撹拌トルク			
線形管理	シールド機の位置・姿勢	小口径 大口径 （基本的に鉄道，道路が対象となる）		ピッチング，ローリング，ヨーイング，蛇行量の把握		測量	セグメントを指定の位置および損傷を与えないように組み立てるための姿勢制御		セグメントの組立基準が評価の参考ともなる
						ジャイロコンパス			
						レベルセンサー			
						トータルステーション			
						ジャイロコンパス			
裏込め管理	注入状況	注入圧		覆工，地山への影響の制御，		注入圧，注入量併用管理		地表面沈下とのバランスにより判断	地盤条件に左右されることから一義的に数値設定することは難しい
		注入量		充填状況の把握					
	注入材料	コンシステンシー		モルタルの流動性，圧送性，粘性の把握		Pフロート	材料，配合により目安値を設定		材料特性として評価できる
						円筒コーン			
						スランプ値			
		ブリージング率		材料分離の状況確認					
		ゲルタイム		円滑な注入状態の維持		カップ倒立法			
						ビニル袋混入法			
		圧縮強度		固結強さの確認		一軸圧縮強度			
一次覆工管理	組立	真円度		内空断面の確保，正常な組立の維持		測量	直径比が目安	実績としてDo/200（Do：トンネル外径）	実績を評価基準とする
		締め付けトルク		継手機能の確保		レンチ，インパクトレンチ，トルクレンチ	組立時および増し締め時に管理	事業者により許容応力度の80%（ピース間），60%（リング間）	設計条件として評価できる
	損傷	欠け，クラック		耐荷性能，耐久性の確保		目視確認	事業者の感覚的な判断		状況により評価が異なる
	防水	防水工	シール材			性能試験	目開きと目違い		シール材の性能試験条件を評価とする
		漏水				漏水量測定	事業者の感覚的な判断		海外の事例を参考とする
	位置	蛇行量，直角度		出来形の管理		測量	計画線形に対するトンネル断面中心のずれ量		実績を評価基準とする

２．２　コストダウン項目の抽出

シールド工事の縮減を行うためにコストダウン項目の抽出を行った。コストダウン項目の抽出にあたっては、２．１で示した現状における設計基準および製作仕様書およびシールド工事の施工管理の現状から①セグメントの設計法、②コンクリートセグメントの製作、③施工管理の各項目毎について検討した。その結果、以下に示す項目がコスト縮減の可能性があると判断した。各縮減項目の検討結果について次章以下に示す。

（１）　セグメントの設計法の合理化

① 設計荷重の低減

② 自重に対する地盤反力の取扱い

③ セグメント幅の拡大、分割数の低減

④ 新型セグメント（ボルトレスセグメント）の適用

⑤ 二次覆工の省略

⑥ 配力筋の低減

⑦ 高強度コンクリートおよび軽量コンクリートの適用

（２）　コンクリートセグメント製作の合理化

① コンクリート設計基準強度の低減

② ボルトレス構造の採用

③ 補修基準の明確化

④ 水中養生の省略

⑤ 配筋の簡素化

⑥ 型枠の転用回数の増加

⑦ 検査回数の低減

⑧ 高流動コンクリートの適用

（３）　シールド工事における施工管理のあり方

① 工期短縮

② シールド機の合理的な設計

③ シールド工事の施工管理の合理化

3．シールドセグメント設計法の合理化

設計法の合理化によるコストダウンの可能性のある項目の検討として、「設計荷重の低減」、「自重に対する地盤反力の取扱い」、「セグメント幅の拡大・分割数の低減」、「新型セグメント（ボルトレスセグメント）の適用」、「高強度コンクリートおよび軽量コンクリートの適用」については、試設計によるコスト縮減効果の算定あるいは適用条件の整理を、「二次覆工の省略」については、トンネル使用目的別の二次覆工に期待する機能と省略時における対策の整理および試設計によるコスト縮減効果の算定を、「配力筋の低減」については、関連基準の調査・分析を行った。以下に検討結果を示す。

3．1 設計方法およびセグメント構造による合理化の検討

（1）設計面からのコストダウンの可能性のある項目の検討

設計面からのコストダウンの可能性のある項目の検討を行い，表－3.1の項目を抽出した。

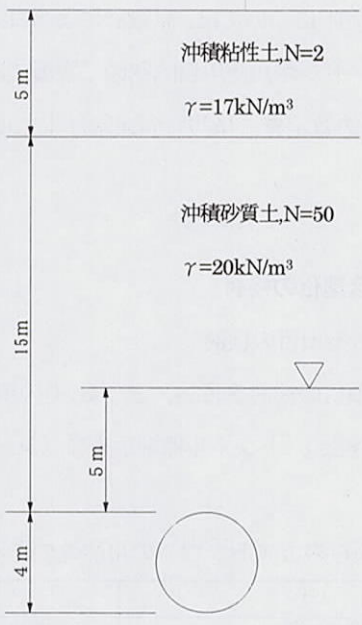
抽出した項目は現状の設計基準（(社) 土木学会：「トンネル標準示方書（シールド編）・同解説」、(平成8年)）を逸脱しない範囲で検討した。

表－3.1　設計面からのコストダウンの可能性のある項目

項　　目	現　　状	合　理　化　案
作　用　荷　重	良質地盤における緩み土圧 最小保証荷重　$2.0D_o \cdot \gamma$ D_o：セグメント外径 γ　：土の単位体積重量	良質地盤における緩み土圧の計算値 換算緩み高さh_0<$2.0D_o$ ↓ 最小保証荷重の制限を取除く ↓ 作用荷重の低減
地　盤　反　力	自重に対する地盤反力は考慮しない	セグメント組立時に保持 ↓ 自重が作用しない ↓ セグメントが地山内で安定 ↓ 自重に地盤反力を考慮
セグメント幅 分　割　数	実績に基づいて標準化	セグメント幅の拡大 分割数の低減
セグメント構造	金具式ボルト接合	新型セグメントの開発・導入 ↓ 継手簡略化
二　次　覆　工	蛇行修正，止水，防食を目的 標準的に施工	セグメントの品質向上 ↓ 二次覆工の機能を補完可能 ↓ 二次覆工省略
配　　筋	経験的に決定 ↓ メーカー，設計者によって異なる	配筋の基準化 ↓ 配筋の統一，格差の是正 ↓ 鉄筋量の低減

（2）試設計条件

抽出したコストダウンの可能性のある項目の中から，作用荷重，地盤反力，セグメント幅・分割数，ボルトレス構造を選定し試設計を行った。また、コスト試算に用いた試設計条件を図－３．１および表－３．２に示す。



図－３．１　試設計に用いたモデル地盤とトンネル位置

表－３．２　試設計条件

	従来設計Ⅰ	従来設計Ⅱ	合理化案Ⅰ	合理化案Ⅱ	合理化案Ⅲ	合理化案Ⅳ
セグメント構造	RC 平板形		RC 平板形		ほぞ付き	
セグメント内径	4,000mm		4,000mm			
セグメント幅	1,000mm	1,200mm	1,200mm			
セグメント厚	175mm 以上		150mm 以上			
分　割　数	5＋K	5等分割	5 等分割			
土圧の算定方法	緩み土圧		緩み土圧			
最小土圧	$2.0D_o$		$2.0D_o$	計算値(0.8Do)	$2.0D_o$	計算値(0.8Do)
側方土圧係数	0.35		0.35			
地盤反力係数	50N/cm³		50N/cm³			
地盤反力	土水圧のみ		自重に考慮	土水圧のみ		自重に考慮
設計基準強度	42～48N/mm²		42～48 N/mm²			
構造計算法	慣用計算法		はり－ばねモデル			

（3）試設計結果およびコスト試算結果

試設計結果に基づいて設定したセグメント（添付資料－1：セグメント図面集参照）について、コスト試算を行った結果を表－3．3に示す。また、コスト試算に用いた試設計結果一覧を表－3．4に示す。

この結果から，合理化案Ⅰ，Ⅱ，Ⅳが15%程度と最もコストダウン効果が大きいことが判る。また，特に設計法（設計荷重の低減、自重に対する地盤反力の取扱い）を変更することなくセグメント幅，および分割数を変更した従来設計Ⅱについても10%程度のコストダウン効果が得られる結果となった。

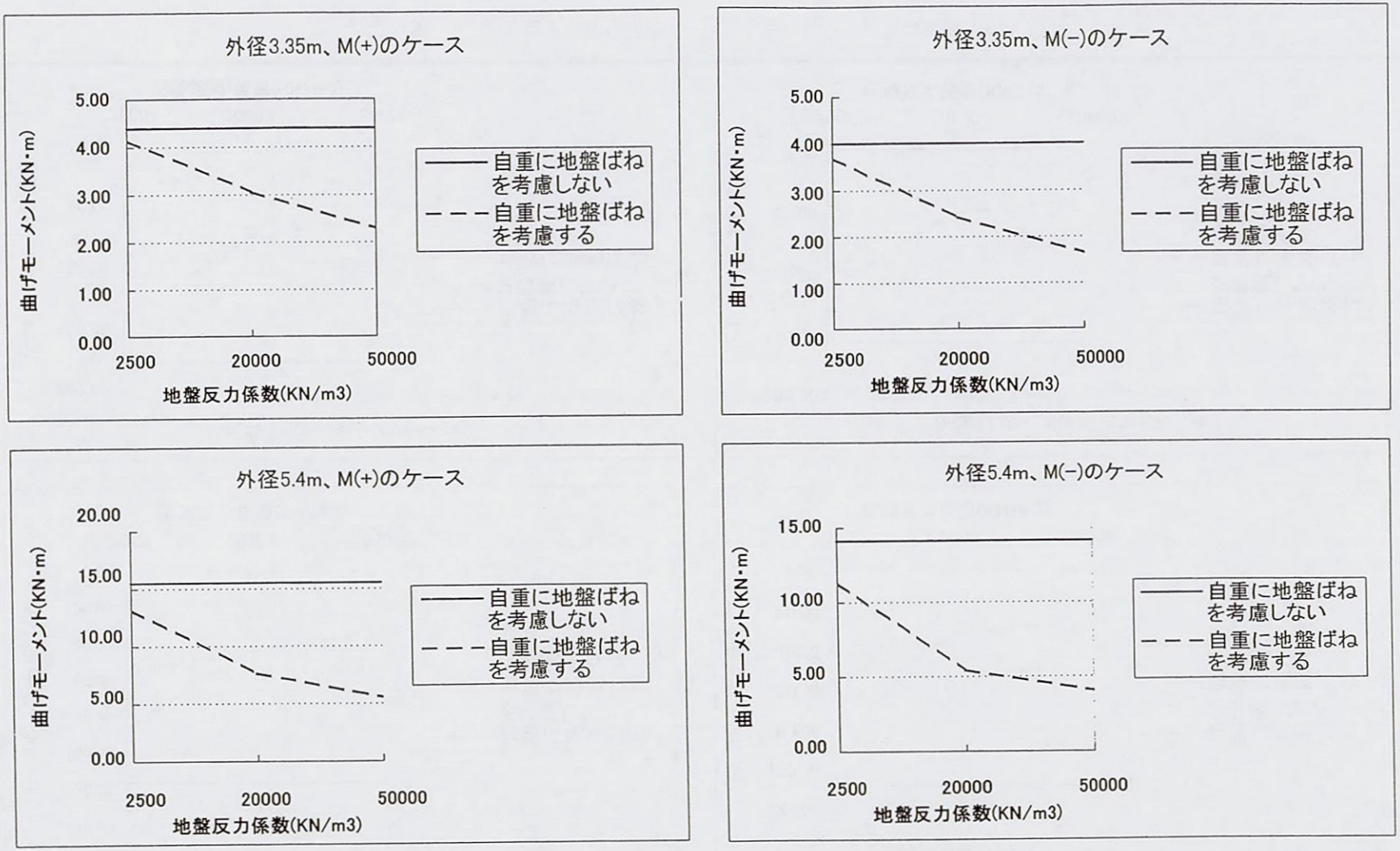
表－3．3　試設計結果に基づくコスト試算結果　（単位：円）

		A　社	B　社	C　社
従来設計Ⅰ	1ﾘﾝｸﾞ当り	418,400	411,700	396,800
	1m当り	418,400	411,700	396,800
	比率(%)	100	98	95
	1m³当り	182,400	179,400	172,900
従来設計Ⅱ	1ﾘﾝｸﾞ当り	454,100	451,800	430,700
	1m当り	378,400	376,500	358,900
	比率(%)	90	90	86
	1m³当り	164,900	164,100	156,400
合理化案Ⅰ	1ﾘﾝｸﾞ当り	423,900	422,200	397,400
	1m当り	353,300	351,900	311,200
	比率(%)	84	84	74
	1m³当り	180,600	179,900	169,300
合理化案Ⅱ	1ﾘﾝｸﾞ当り	423,900	422,200	397,400
	1m当り	353,300	351,900	311,200
	比率(%)	84	84	74
	1m³当り	180,600	179,900	169,300
合理化案Ⅲ	1ﾘﾝｸﾞ当り	462,500	453,400	439,700
	1m当り	385,400	377,900	366,400
	比率(%)	92	90	86
	1m³当り	168,000	164,600	159,700
合理化案Ⅳ	1ﾘﾝｸﾞ当り	433,200	424,000	405,600
	1m当り	361,000	353,400	338,000
	比率(%)	86	84	81
	1m³当り	184,600	180,700	172,800

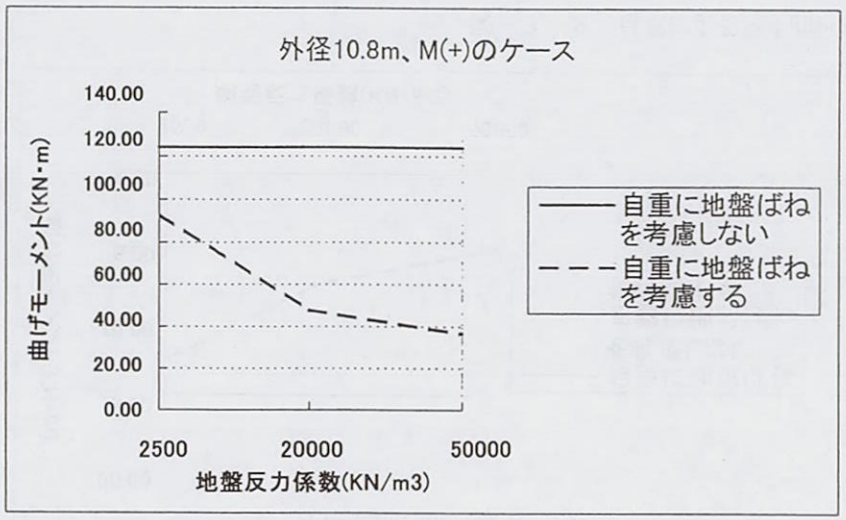
注）表中の比率はA社の従来設計Ⅰを100%とした場合の割合を示す。

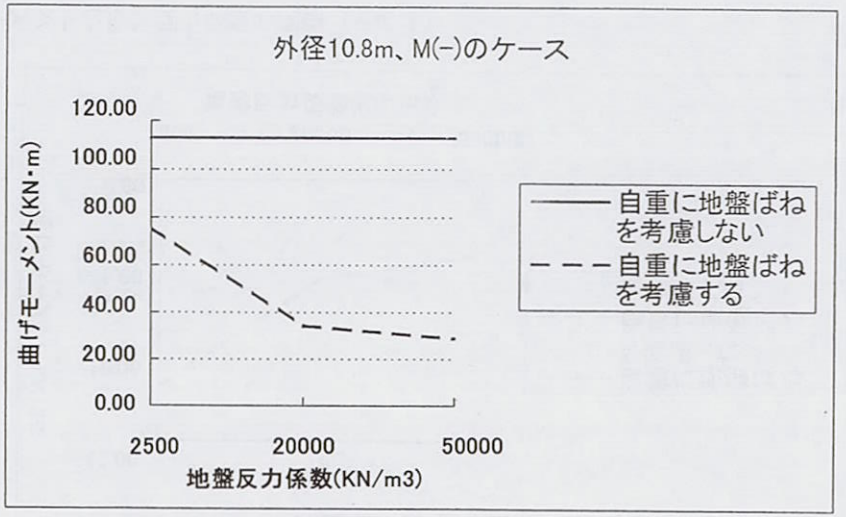
表－3.4 試 設 計 結 果 一 覧 表

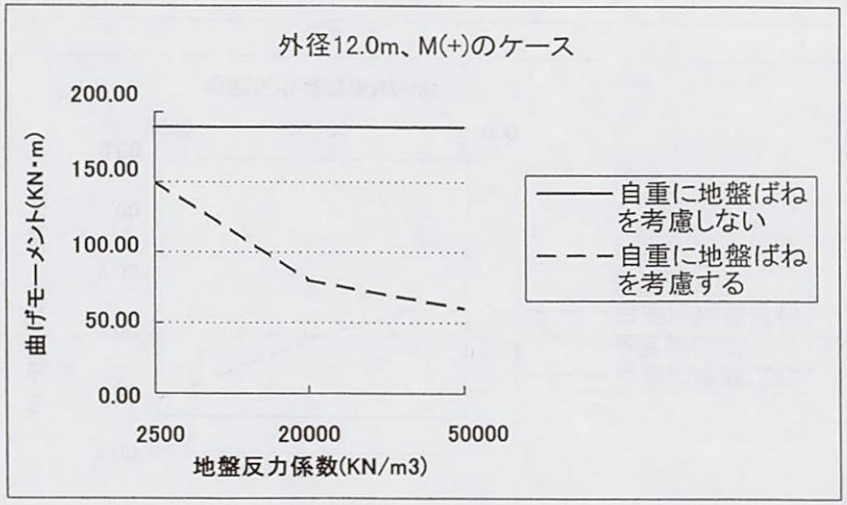
				従来設計Ⅰ	従来設計Ⅱ	合理化案Ⅰ	合理化案Ⅱ	合理化案Ⅲ	合理化案Ⅳ
セグメント構造				RC平板形	RC平板形	RC平板形	RC平板形	ほぞ付き	ほぞ付き
分割数				5＋K	5等分割	5等分割	5等分割	5等分割	5等分割
セグメント幅			mm	1,000	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
セグメント厚			mm	175	175	150	150	175	150
断面力	正	曲げモーメント	kN·m	31.43	39.83	18.67	15.10	39.21	6.65
		軸力	kN	284.35	338.22	364.35	224.29	359.14	238.30
	負	曲げモーメント	kN·m	21.02	27.15	17.82	18.71	30.52	7.48
		軸力	kN	375.82	450.80	442.77	281.66	489.68	265.19
	せん断力		kN	33.41	41.77	29.51	18.59	52.56	10.77
内縁側鉄筋量			cm²	7.602 (D13×6)	10.136 (D13×8)	10.136 (D13×8)	10.136 (D13×8)	10.136 (D13×8)	10.136 (D13×8)
外縁側鉄筋量			cm²	7.602 (D13×6)	10.136 (D13×8)	10.136 (D13×8)	10.136 (D13×8)	10.136 (D13×8)	10.136 (D13×8)
内縁側鉄筋被り			mm	35	35	35	35	35	35
外縁側鉄筋被り			mm	35	35	35	35	35	35
内縁側鉄筋比			%	0.543	0.603	0.734	0.734	0.603	0.734
外縁側鉄筋比			%	0.543	0.603	0.734	0.734	0.603	0.734
応力度	正曲げ	ｺﾝｸﾘｰﾄ圧縮応力度	N/mm²	8.87	10.26	6.29	5.23	10.05	2.54
		鉄筋引張応力度	N/mm²	149.5	159.38	28.03	45.36	145.79	-5.40
		鉄筋圧縮応力度	N/mm²	62.36	75.55	57.14	40.81	76.63	28.16
	負曲げ	ｺﾝｸﾘｰﾄ圧縮応力度	N/mm²	5.36	6.61	5.98	6.48	7.45	2.73
		鉄筋引張応力度	N/mm²	22.53	32.90	5.93	54.82	41.27	-7.01
		鉄筋圧縮応力度	N/mm²	54.63	66.16	60.64	50.89	73.49	30.59
	ｺﾝｸﾘｰﾄせん断応力度		N/mm²	0.199	0.249	0.214	0.135	0.313	0.078
許容応力度	ｺﾝｸﾘｰﾄ圧縮応力度		N/mm²	15.0					
	鉄筋引張応力度		N/mm²	200					
	鉄筋圧縮応力度		N/mm²	200					
	ｺﾝｸﾘｰﾄせん断応力度		N/mm²	0.55					

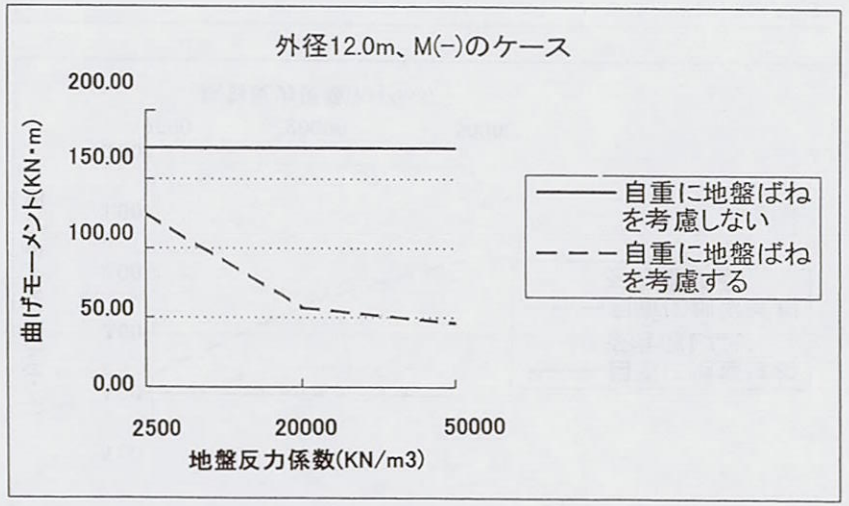


図－３．２　自重による発生曲げモーメントと地盤反力係数の関係（その１）

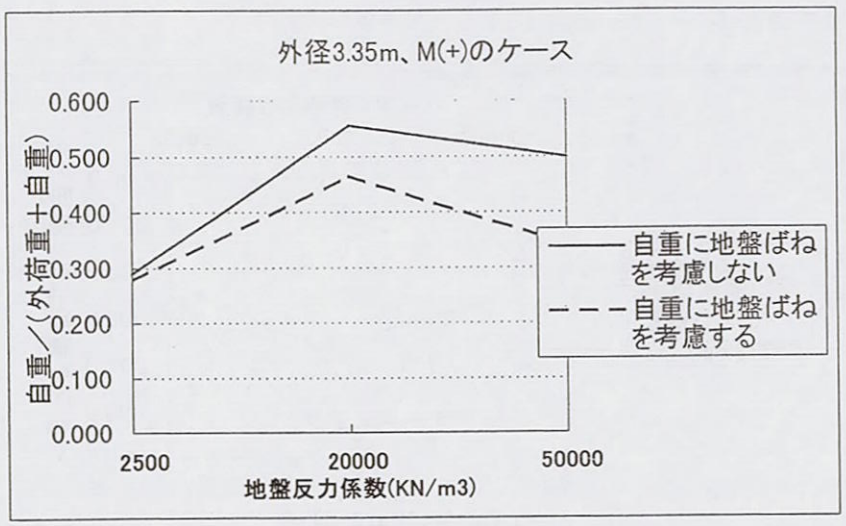


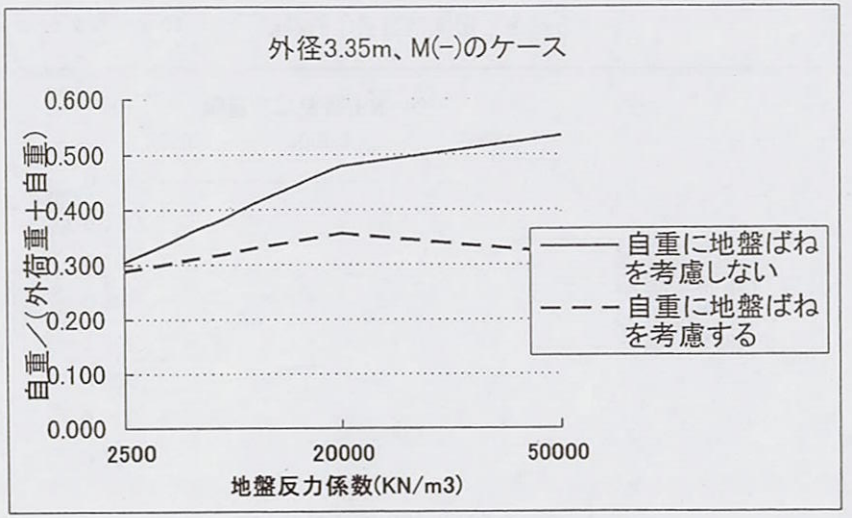


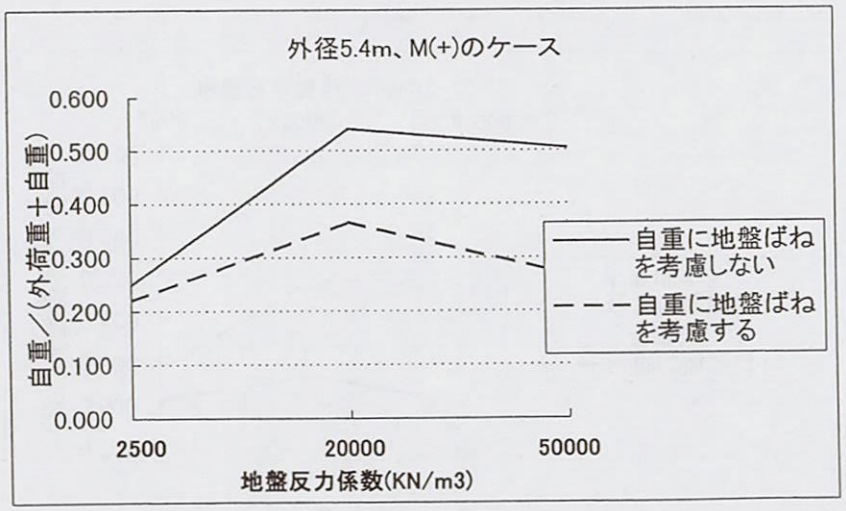


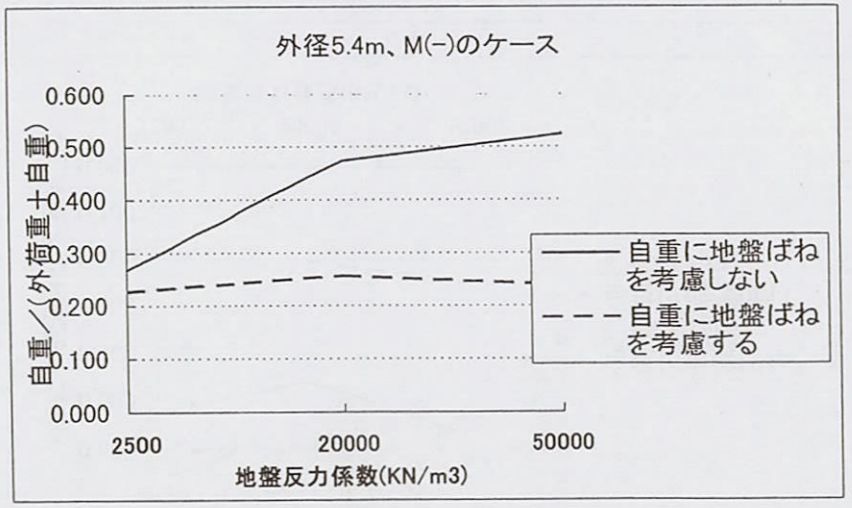


図－３．３　自重による発生曲げモーメントと地盤反力係数の関係（その２）

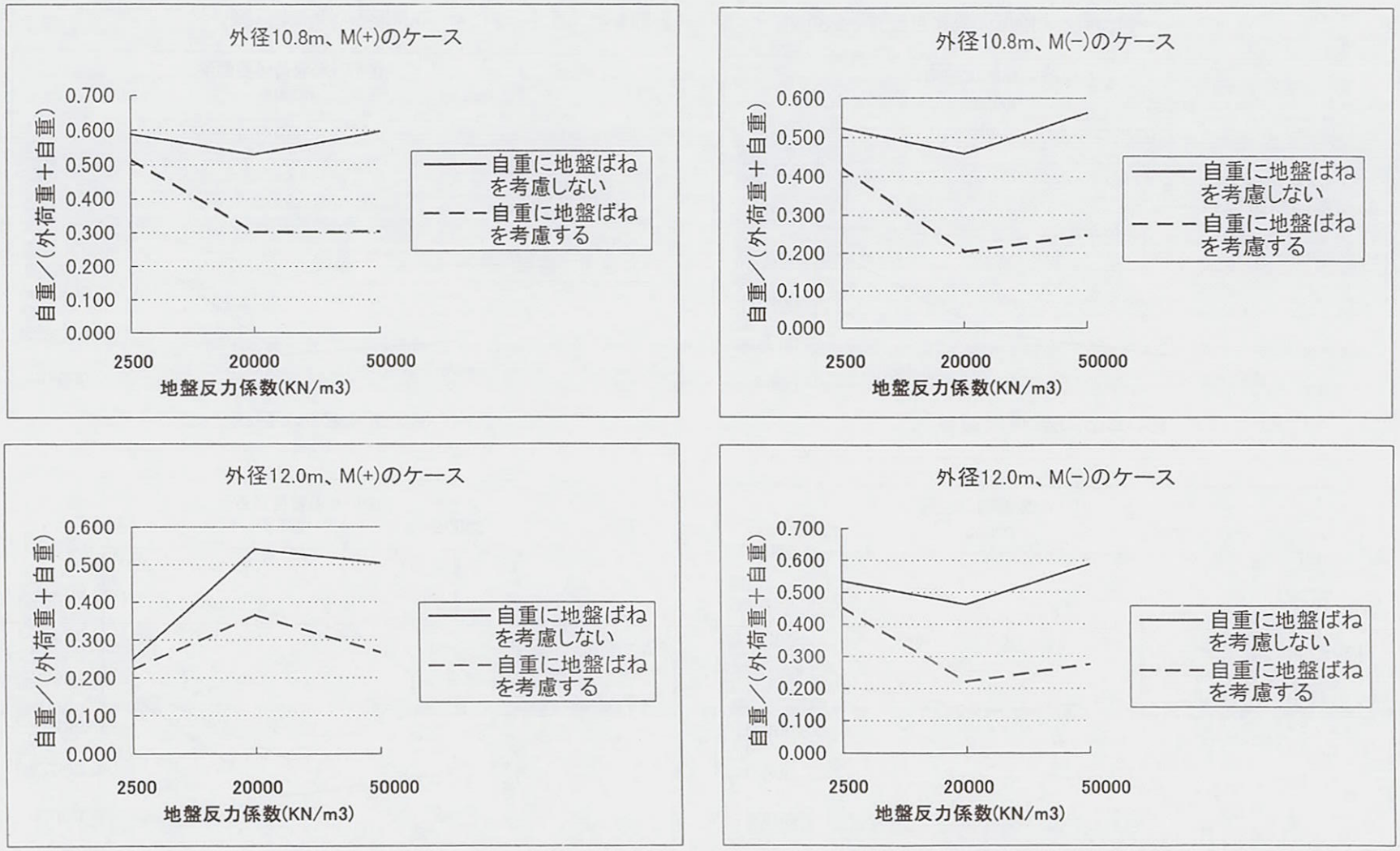




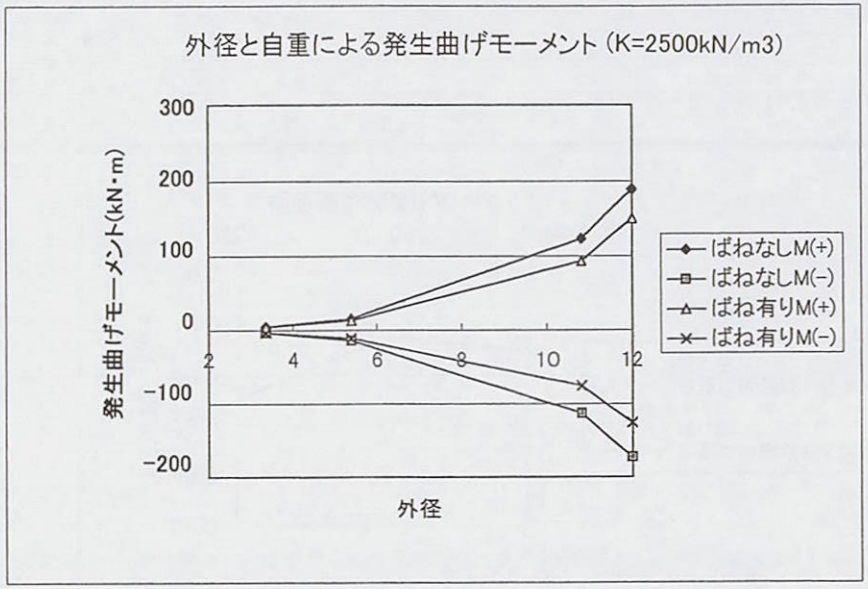


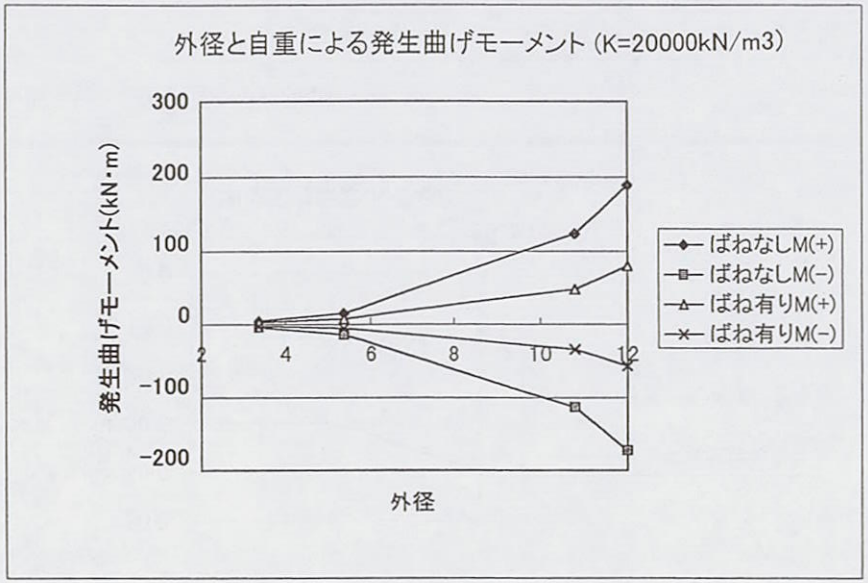


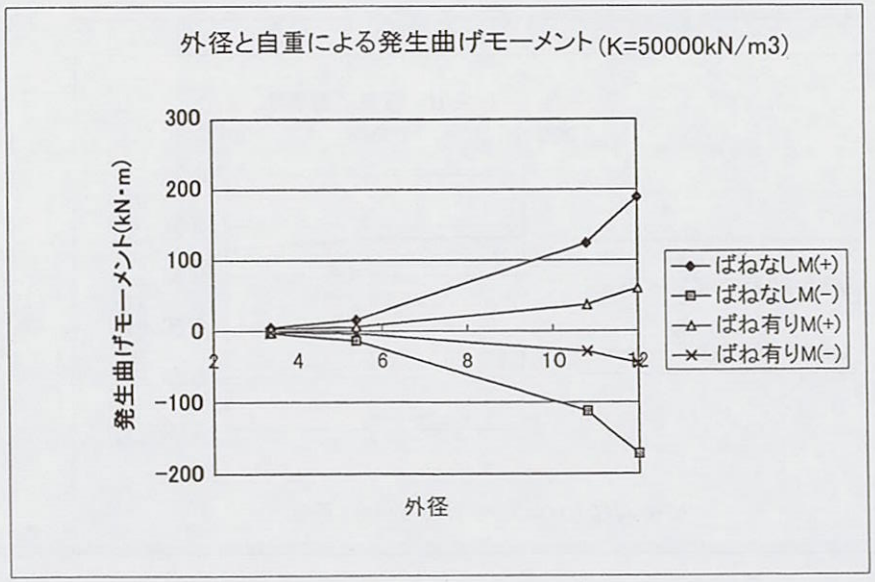
図－3．4　全曲げモーメントと自重による曲げモーメントとの比率と地盤反力係数の関係（その１）



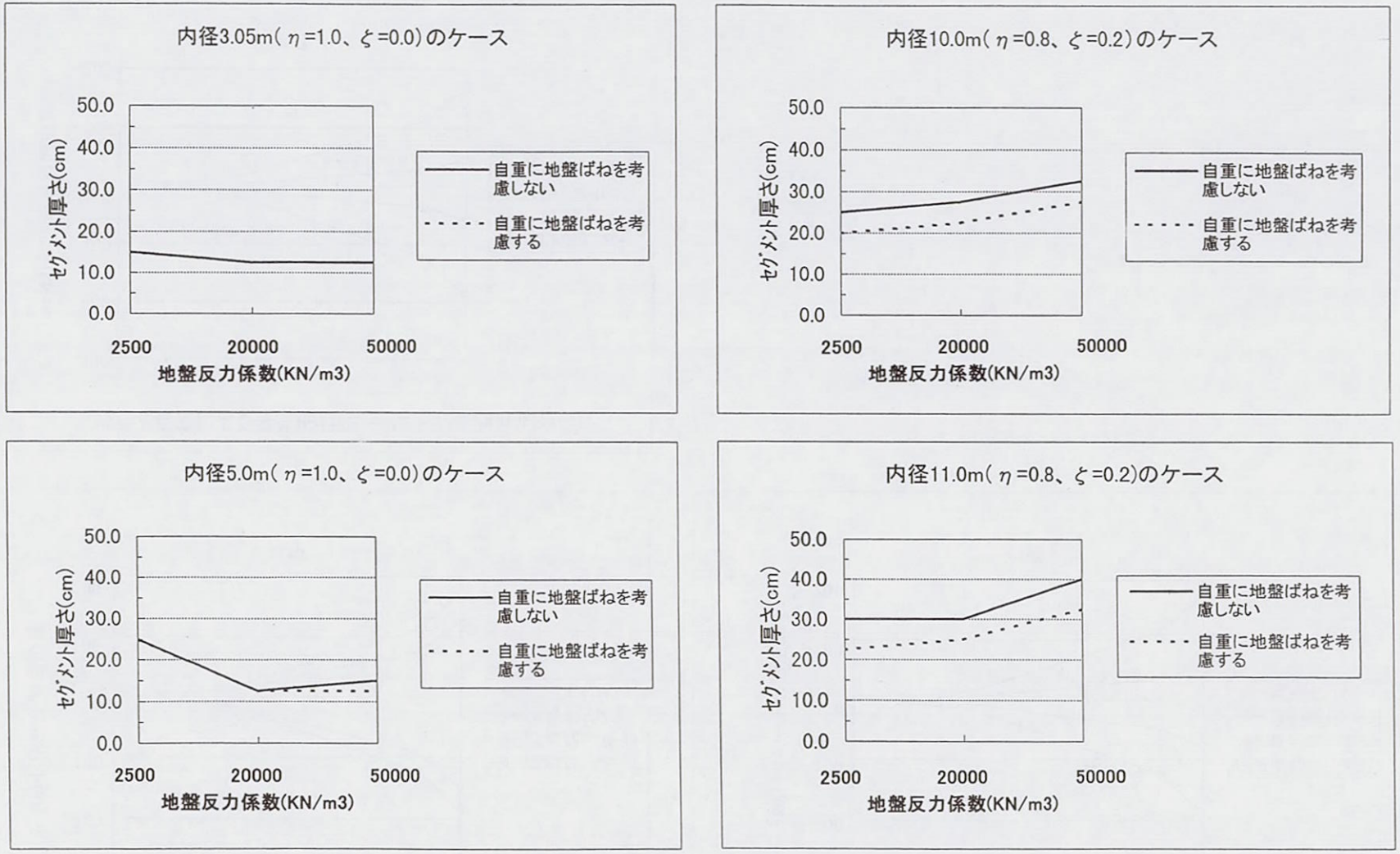
図－３．５　全曲げモーメントと自重による曲げモーメントとの比率と地盤反力係数の関係（その２）



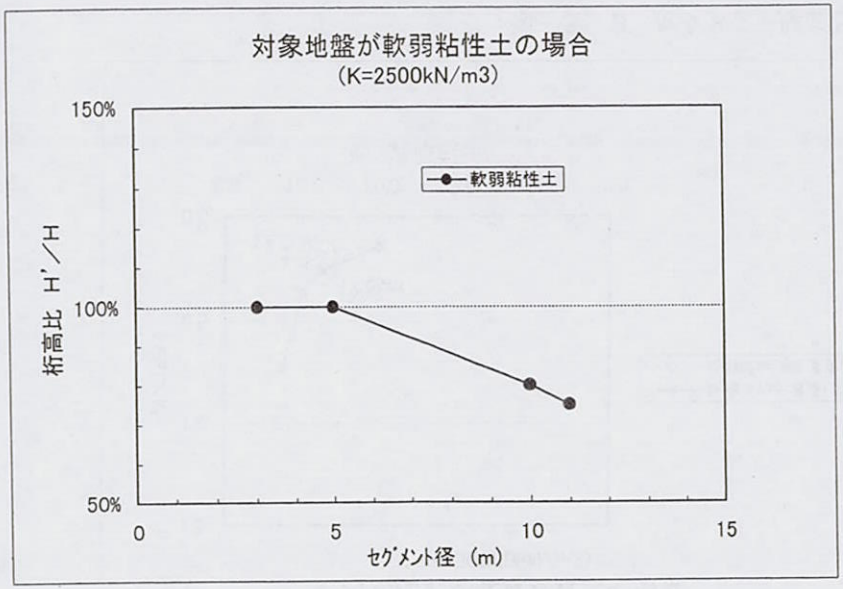


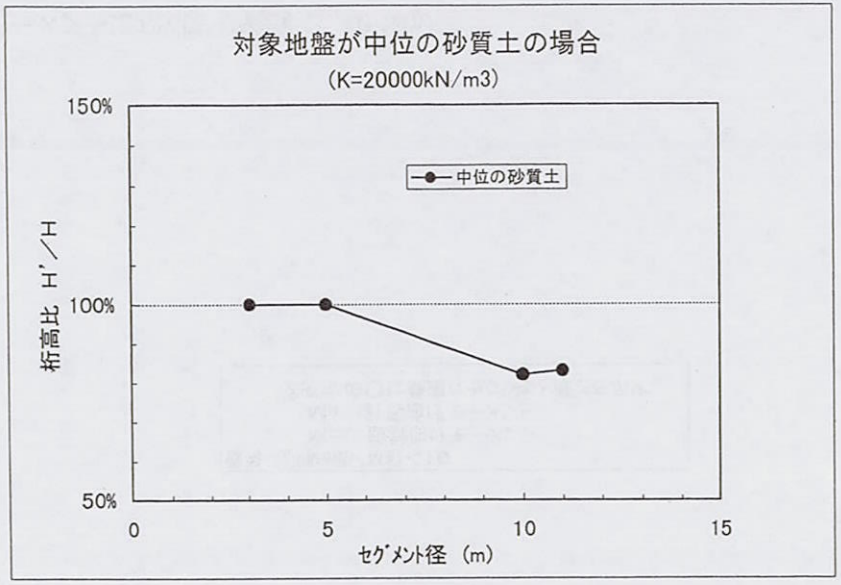


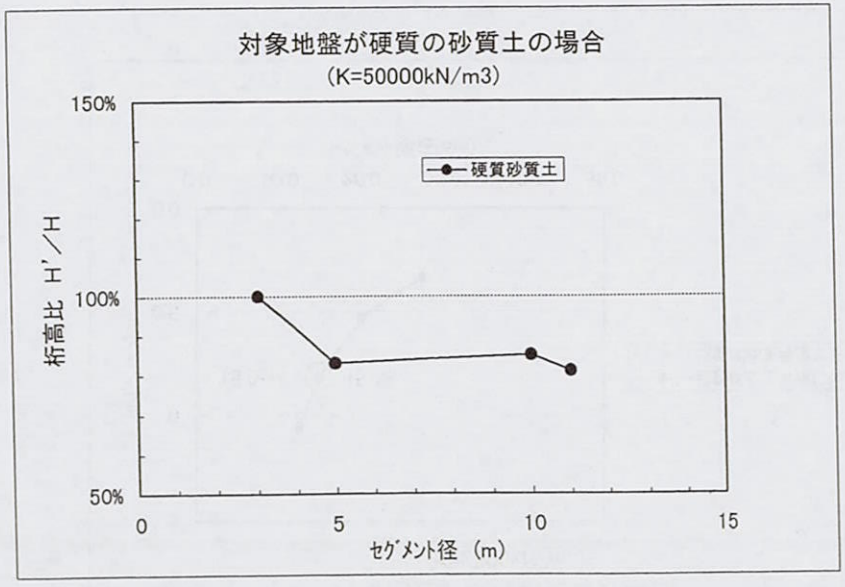
図－３．６　自重による発生曲げモーメントと外径の関係



図－３．７　最適なセグメント覆工厚と地盤反力係数の関係

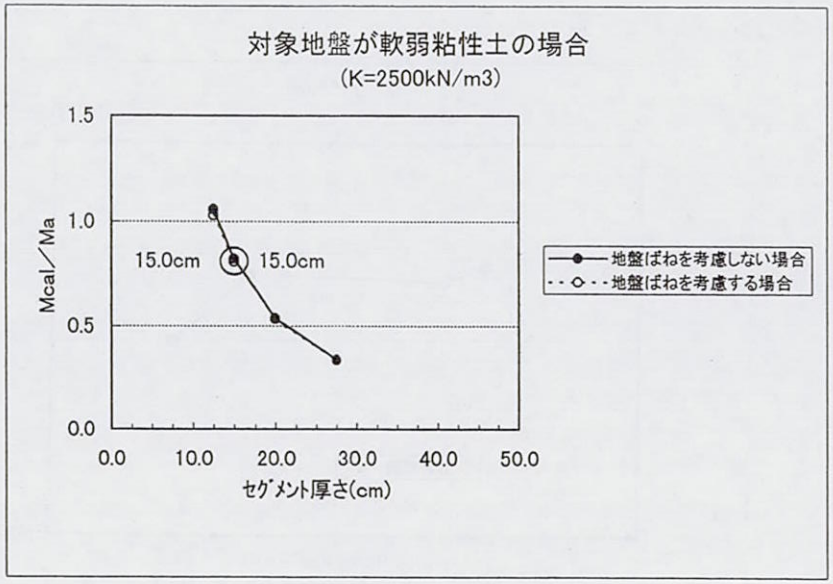


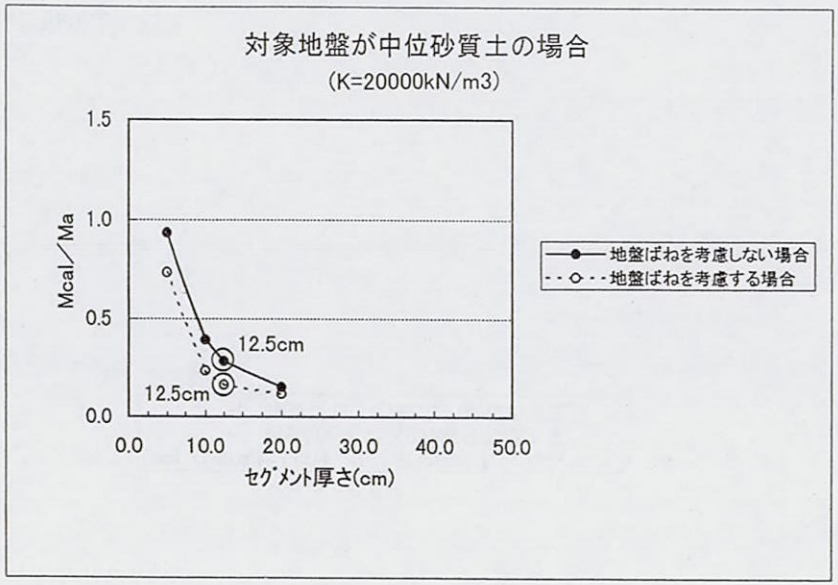


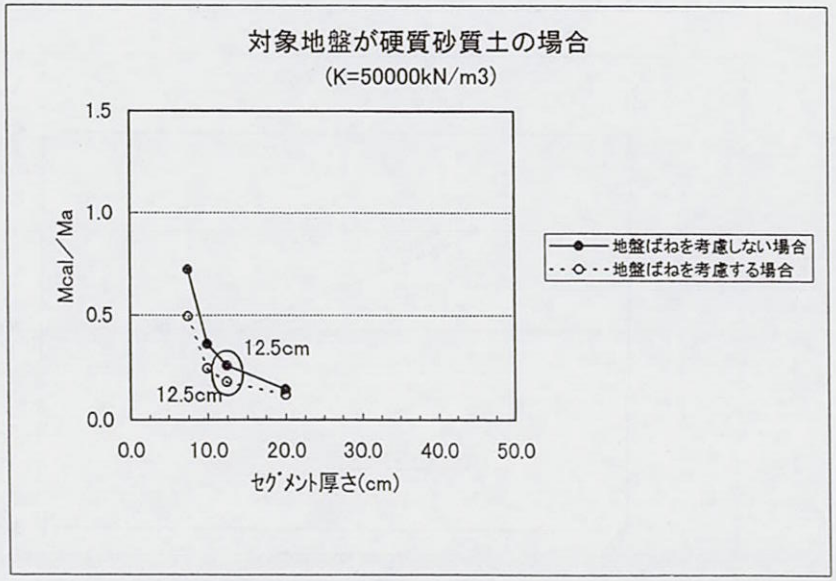


備考:①桁高比とはH'／Hを示す。ここに
H':地盤ばねを考慮した場合の覆工厚
H :地盤ばねを考慮しない場合の覆工厚

図－3．8　セグメント外径と桁高比の関係

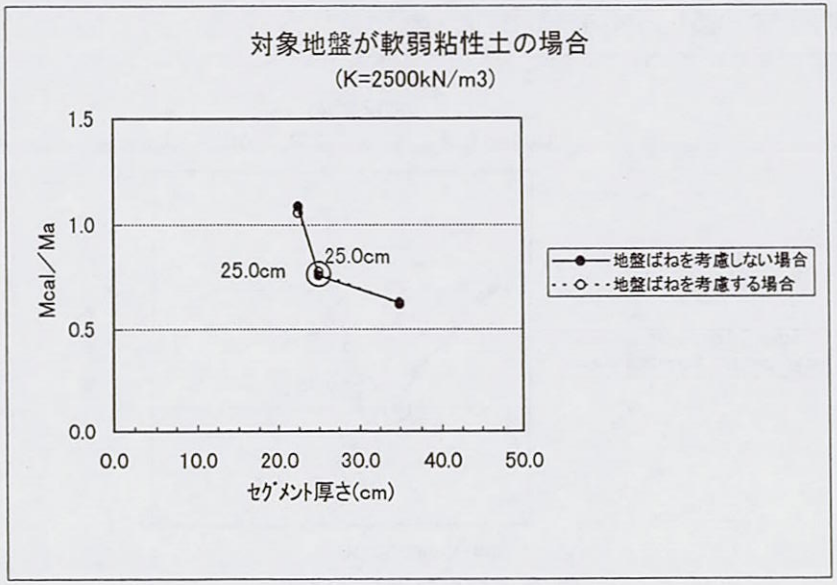


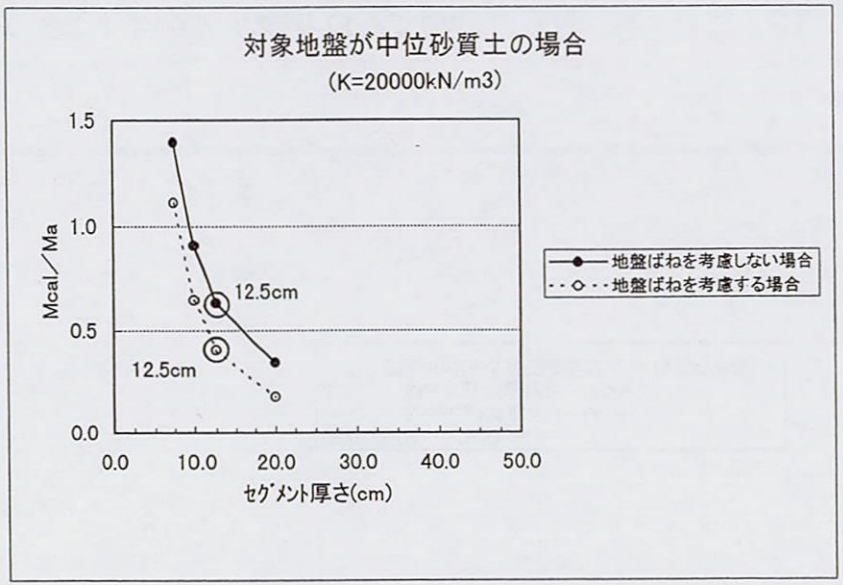


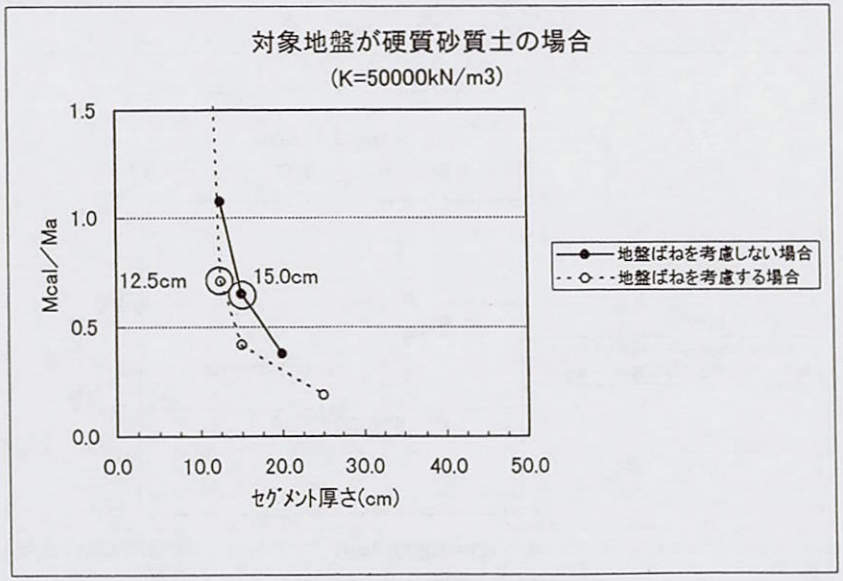


備考：①(Mcal／Ma)＜1.0
Mcal：設計曲げモーメント
Ma　：許容曲げモーメント
②図中の○は最適なセグメント厚さを示す。

図－３．９　セグメント厚さと設計曲げモーメント比の関係（内径φ３．０５m）

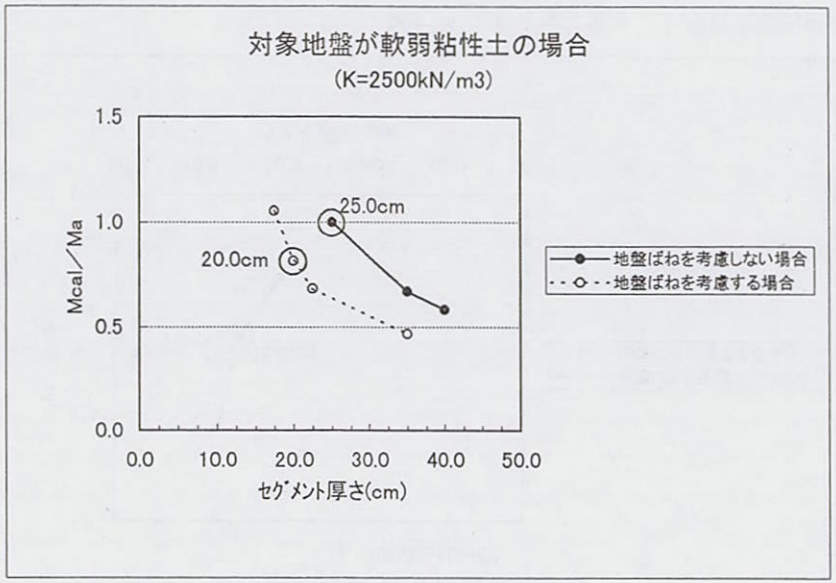


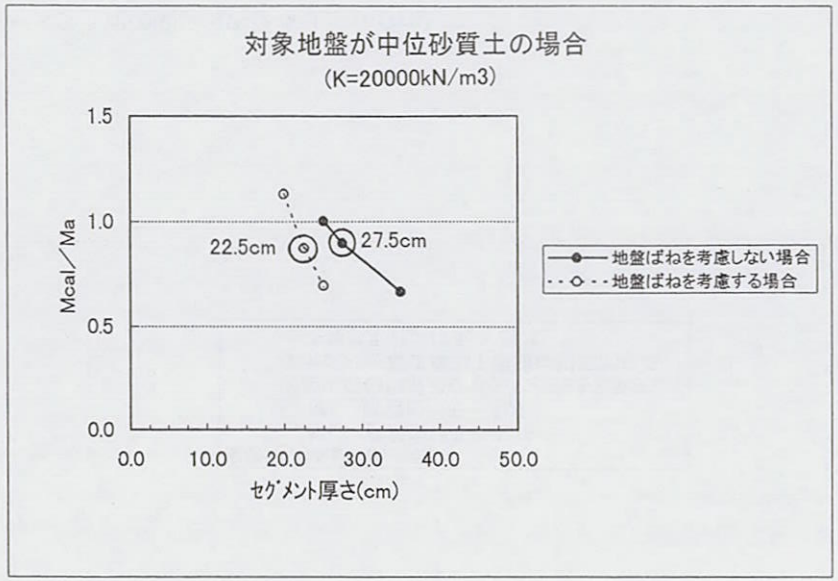


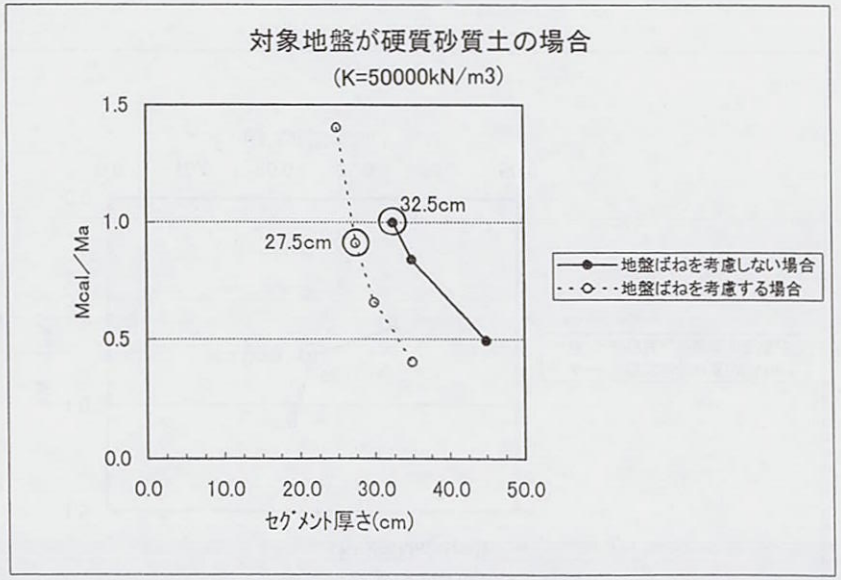


備考:①(Mcal／Ma)＜1.0
Mcal:設計曲げモーメント
Ma :許容曲げモーメント
②図中の○は最適なセグメント厚さを示す。
③セグメント覆工厚の下限値は現実的な点を踏まえ H＞12.5cm とした。

図－3．10　セグメント厚さと設計曲げモーメント比の関係（内径φ5．00m）

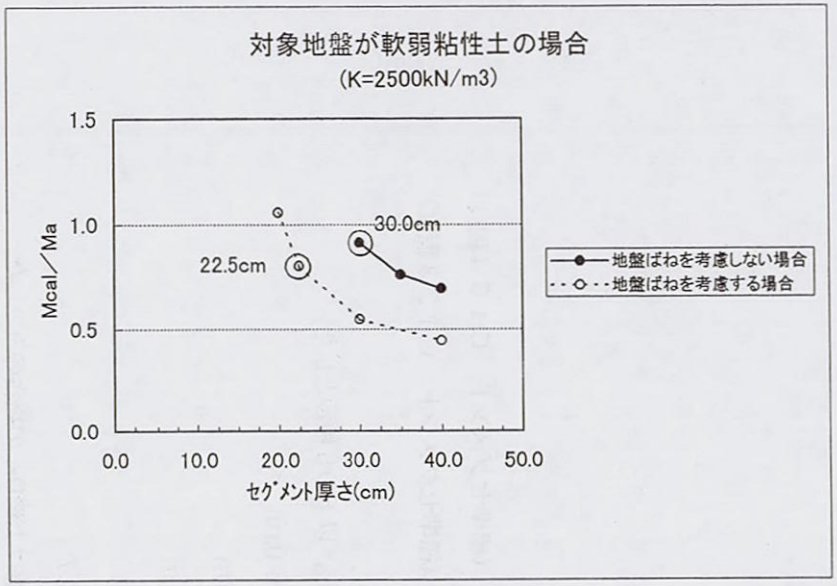


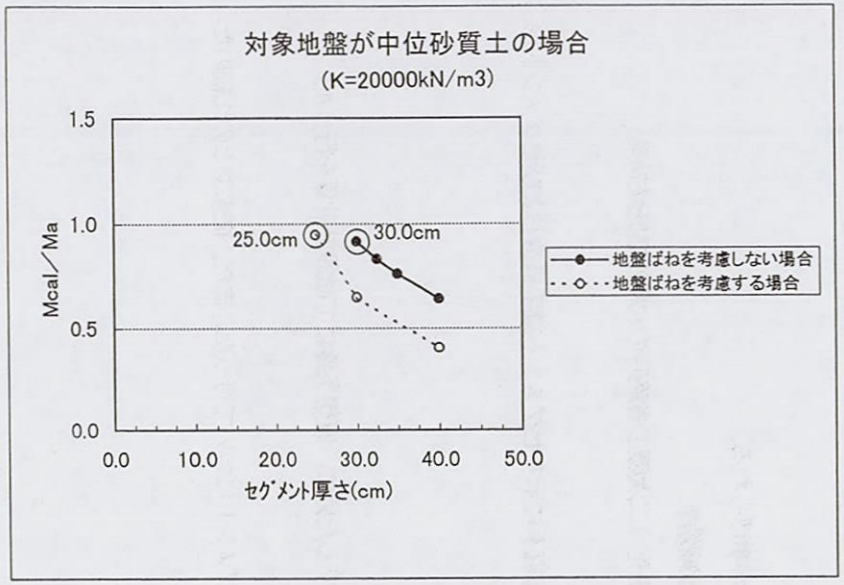


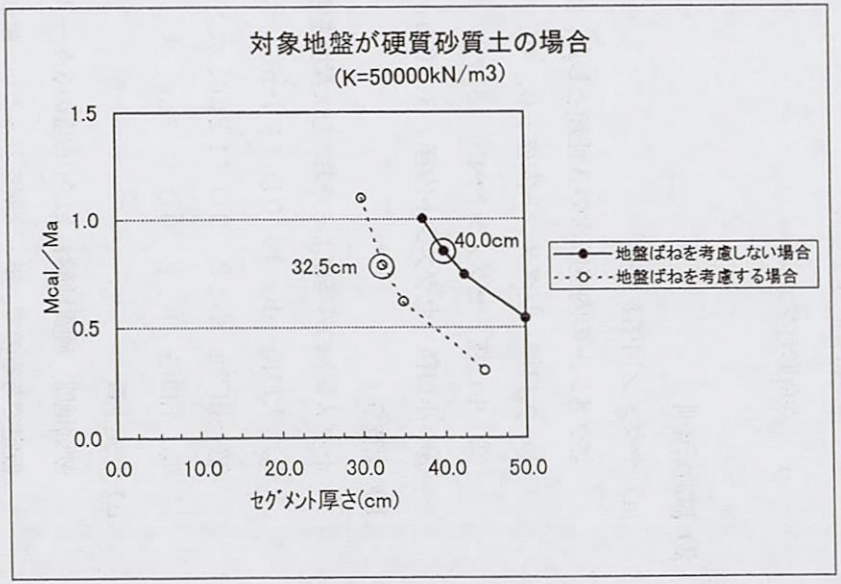


備考：①(Mcal／Ma)＜1.0
Mcal：設計曲げモーメント
Ma　：許容曲げモーメント
②図中の○は最適なセグメント厚さを示す。

図－３．１１　セグメント厚さと設計曲げモーメント比の関係（内径φ１０．００m）







備考：①(Mcal／Ma)＜1.0
Mcal：設計曲げモーメント
Ma ：許容曲げモーメント
②図中の○は最適なセグメント厚さを示す。

図－３．１２　セグメント厚さと設計曲げモーメント比の関係（内径φ１１．００m）

3．3　ボルトレスセグメントの適用条件の整理

（1）　ボルトレスセグメントの種類の特徴

ボルトレスセグメントのメリットには以下のようなものが挙げられる。

1）ボルト締結時間の短縮による施工時間（工期）短縮効果

2）ボルトボックスの縮小または削減による内面平滑化（二次覆工省略時の穴埋作業低減効果）

3）ボックスレスによる配筋の簡素化

これらのことを考慮して，ここでは最近開発されている以下に示すセグメント継手構造およびセグメント形状について試設計を行った。

（2）試設計に基づく構造上の適用条件の整理

これらのセグメントタイプの適用土質，条件等を検討するために，仮想条件にて試設計計算を行った。

1）試設計セグメント

試設計は，各タイプから１種類ずつ選定し，以下のセグメントについて行った。また，従来型との比較のために，標準セグメントによる設計も実施した。

試設計セグメント

- 標準セグメント
- くさび式継手セグメント
- ほぞ付きセグメント
- 六角形セグメント

2）試設計条件

a）セグメント内径

セグメントの内径は次の３種類とした。

① 大口径　セグメント内径１０．０　m

② 中口径　セグメント内径　５．０　m　（標準セグメント　Ｃ１５４程度）

③ 小口径　セグメント内径　３．０５m　（標準セグメント　Ｃ１２３程度）

b）土被り

セグメントの外径による差および大深度を考慮し，以下の６種類とした。

① 大口径　小：１．０D（１１m），大：５０m

② 中口径　小：２．０D（１２m），大：５０m

③ 小口径　小：２．０D（　７m），大：５０m

c）想定土質

軟弱地盤，硬質地盤および中程度の３ケースとした。

仮定であるので，単一土層を基本とし，軟弱地盤は土被り小の場合のみとした。

① 土被り小の場合

軟弱地盤を想定

土水一体

全土被り

土の湿潤重量　　：16(kN/m³)

側方土圧係数λ　　：0.7　　（N値３程度とした）

地盤反力係数k　　：2500(kN/m³)　（N値３程度とした）

中程度の地盤を想定（締った砂質土とした）

土水分離

緩み土圧

側方土圧係数λ　　：0.5　　（N値２０程度とした）

地盤反力係数k　　：20000(kN/m³)　（N値２０程度とした）

② 土被り大の場合

硬質地盤を想定

土水分離

緩み土圧（大口径：1.0D，中・小口径：1.5D）

側方土圧係数λ　　：0.45　　（N値50以上とした）

地盤反力係数k　　：50000(kN/m³)　（N値50以上とした）

ここでの，λ・kの選定は，（社）土木学会：「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」、（平成８年）によるλ・kの参考表を基にした。

d）地下水位

地下水位は，全てのケースにおいてＧＬ-2.0m と仮定した。

e）自重計算時の地盤反力の取り扱い。

本試設計では，従来通りの考え方を基本とし，自重解析時に地盤反力は考慮しないものとした。

f）解析方法

解析方法は比較検討のため，統一すべきであるが，基本とするセグメントを標準セグメントとしていることから，標準セグメントは慣用計算法（η=1.0，ζ=0.0）を用い，他のセグメントについては，それぞれのセグメントに応じた解析モデル（はり-ばねモデル）を用いることとした。なお，標準セグメントについては，はり-ばねモデルによる解析も同時に行った。

はり-ばねモデル解析に用いた各セグメントの回転ばね定数を表－３．８に示す。表中の回転ばね定数

の値は、標準セグメントおよびくさび式継手セグメントの回転バネ定数は、村上小泉による方法[20) 21)]を参考に算出した。ほぞ付きセグメントの回転バネ定数は、レオンハルト（Leonhardt）ら[22)]によるコンクリート継手（Betongelenke）に関する理論式に準じて算出した。六角形セグメントの回転バネ定数は、実物大載荷試験結果による実験式[23)]により算出した。

表－３．８　入力回転バネ定数　(kN･m／rad)

セグメント	φ3350mm	φ5400mm	φ10800mm	備考
標準セグメント	8000	10000	83000	
くさび式継ぎ手セグメント	13000	17000	152000	
ほぞ付きセグメント	8000	16000	62000	M(荷重偏心率)≦0.24
	4000	9000	33000	0.24<m≦0.34
	0	0	0	0.34<m
六角形セグメント	26,790,000	430,000	330,000	(軟弱地盤)
	15,880,000	11,800,000	400,000	(中位地盤)
	324,120,000	42,400,000	212,000	(硬質地盤)

３）試設計結果

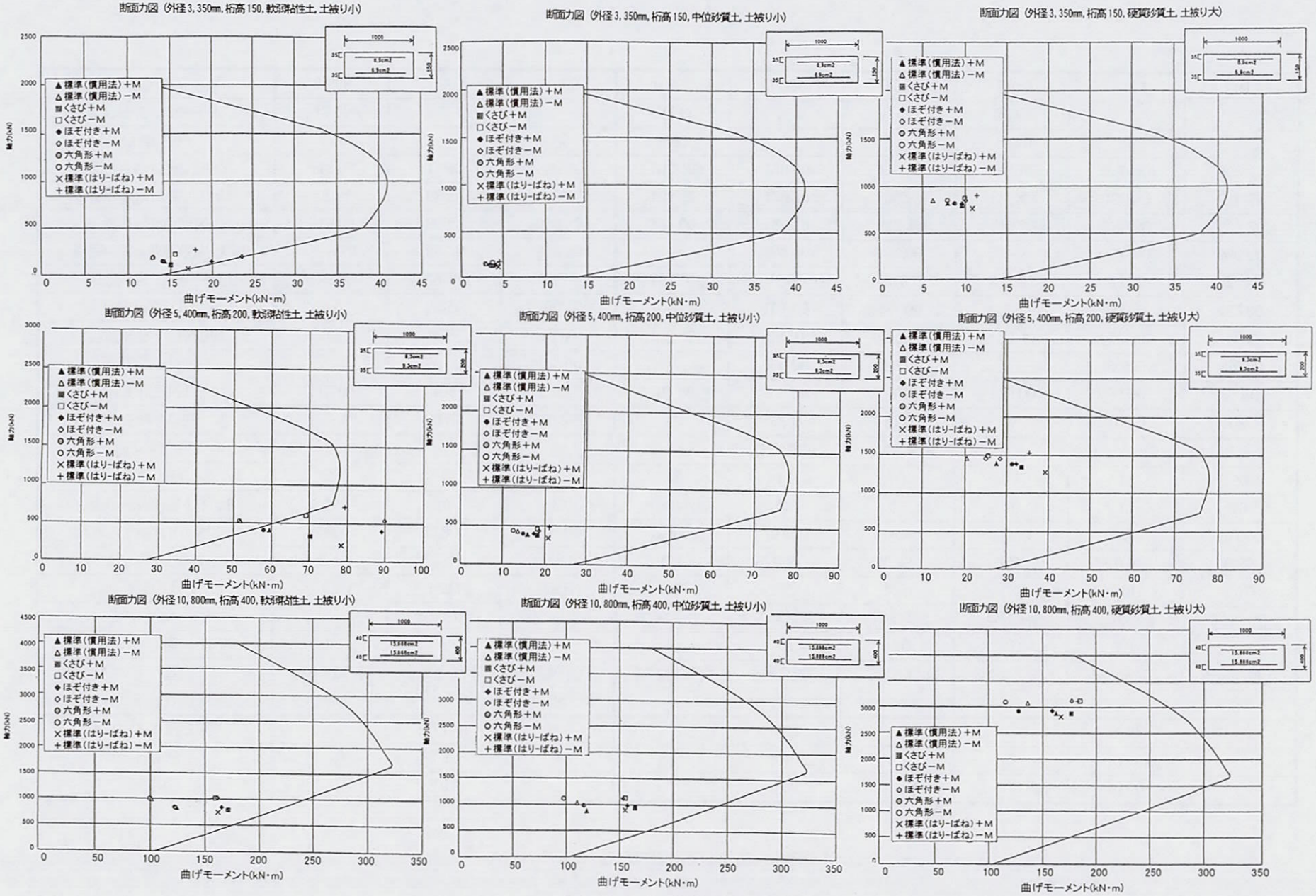
試設計に用いた条件および荷重計算結果を表－３．９に示す。また，対象セグメント本体の許容耐力カーブと各セグメント試設計結果における作用断面力を図－３．１３に示す。

図－３．１３より，ほぞ付きセグメント（セグメント継手が突き合わせ構造のセグメント）は，軟弱地盤において，他のセグメントより大きな曲げモーメントが発生する傾向が読みとれる。また，硬質地盤では，セグメントタイプによる断面力の差が少ないことが判る。

中口径セグメントの軟弱地盤における解析結果がばらついて見えるのは，表－３．９の側方荷重と鉛直荷重の比に示したように，最も荷重バランスが悪く曲げモーメントが卓越する条件となっていることによると考えられる。今回の試設計条件の範囲内では，発生曲げモーメントにセグメントタイプによる明確な違いがみられないが，ほぞ付きセグメント等の突き合わせ継手構造のセグメントでは，軟弱地盤において他のセグメントよりも大きめの曲げモーメントが作用することが考えられるので，このような地盤での採用には注意を要する。

表－３．９　試設計条件と荷重算定結果

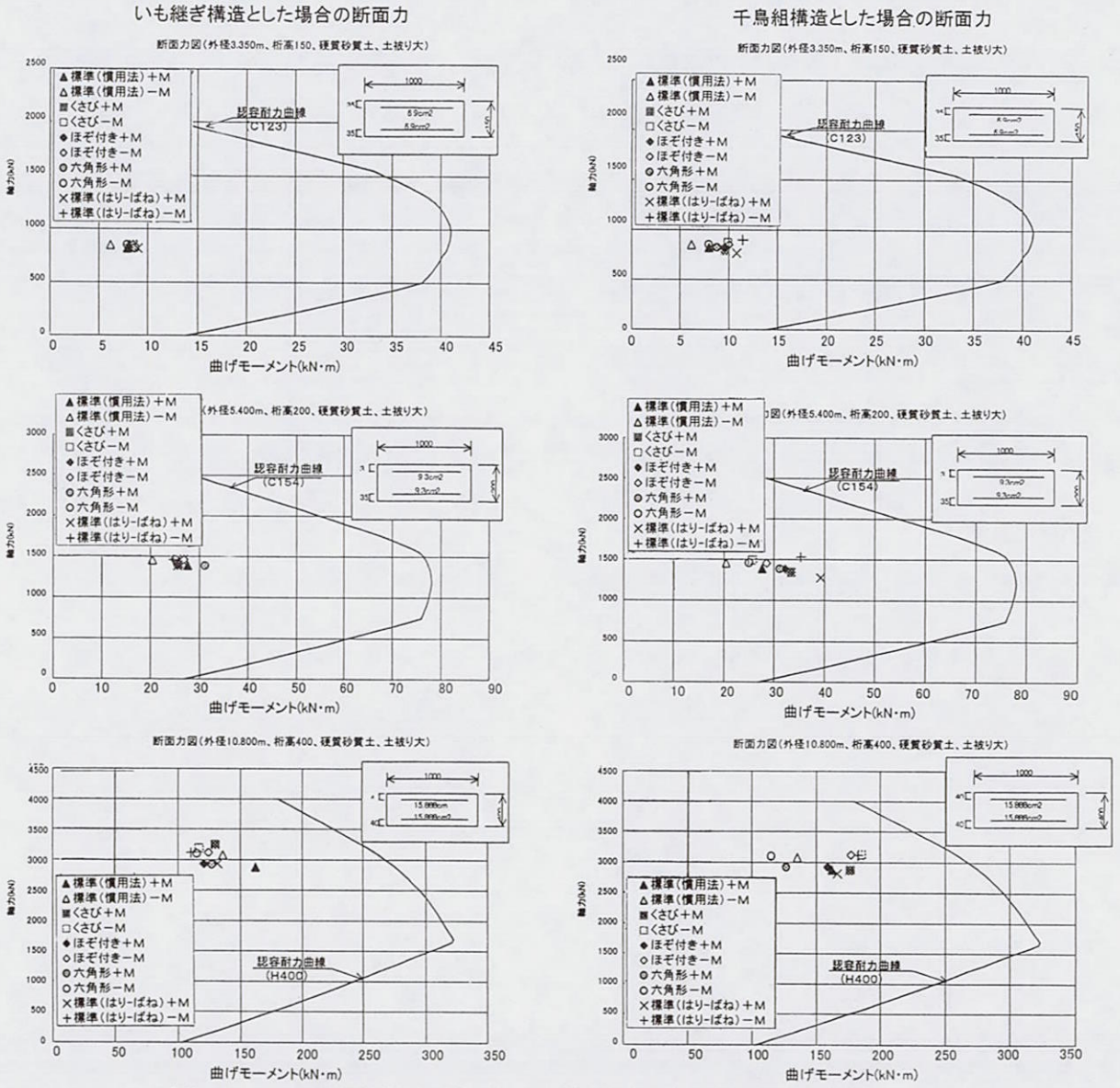
内径(m)	3.05			5.00			10.00		
外径(m)	3.35			5.40			10.80		
セグメント厚さ(m)	0.15			0.20			0.40		
土被り	小		大	小		大	小1		大
土　質	軟弱粘性土	中位砂質土	洪積砂質土	軟弱粘性土	中位砂質土	洪積砂質土	軟弱粘性土	中位砂質土	洪積砂質土
N　値	3	20	>50	3	20	>50	3	20	>50
水の扱い	土水一体	土水分離	土水分離	土水一体	土水分離	土水分離	土水一体	土水分離	土水分離
鉛直土圧	全土被り	1.5D	1.5D	全土被り	1.5D	1.5D	全土被り	1.0D	1.0D
側方土圧係数λ	0.7	0.5	0.35	0.7	0.5	0.35	0.7	0.5	0.35
地盤反力係数k(kN/m³)	2,500	20,000	50,000	2,500	20,000	50,000	2,500	20,000	50,000
土の単位体積重量γ(kN/m³)	16	17	19	16	17	19	16	17	19
土被り(m)	7	7	50	12	12	50	11	11	50
地下水位(m)	GL-2.0m								
ゆるみ高さ(m)	－	50.25	50.25	－	81.0	81.0	－	108.0	108.0
鉛直土圧(N/m²)	112.00	35.43	54.23	192.00	56.70	72.90	176.00	93.60	97.20
鉛直水圧(N/m²)	－	50.00	480.00	－	100.00	480.00	－	90.00	480.00
頂部水平土圧(N/m²)	79.24	17.98	16.07	135.52	28.70	25.83	125.44	47.50	34.65
頂部水平水圧(N/m²)	－	50.75	480.75	－	101.00	481.00	－	92.00	482.00
底部水平土圧(Nm²)	115.08	29.18	26.15	193.76	46.90	42.21	241.92	83.90	67.41
底部水平水圧(N/m²)	－	82.75	512.75	－	153.00	533.00	－	196.00	586.00
鉛直荷重(N/m²)	112.00	85.43	525.23	192.00	156.70	552.90	176.00	183.60	577.20
頂部水平荷重(N/m²)	79.24	68.73	496.82	135.52	129.70	506.83	125.44	139.50	516.65
底部水平荷重(N/m²)	115.08	11.93	538.90	193.76	199.90	575.21	241.92	279.90	653.41
自重(N/m)	3.90			5.20			10.40		
自重反力(N/m²)	12.25			16.34			32.67		
側方荷重/鉛直荷重	0.868	1.057	0.986	0.858	1.052	0.979	1.044	1.142	1.014



図－3．13　試設計結果一覧

大深度を想定した場合軸力卓越となるので，いも継ぎ構造とすることで違いがでることが考えられる。その場合，従来継手でも十分に縮減効果が得られることも考えられる。そこで，大深度の場合（試設計における土被り５０m）については，いも継ぎ構造の検討を行った。その結果を図－３．１４に示す。

この結果より，大深度の場合，従来構造の標準セグメントでもいも継ぎ構造にすることにより発生断面力を低減でき，セグメント構造の違いによる発生断面力の違いがみられなくなった。



図－3．14　試設計結果一覧（いも継ぎ構造および千鳥組構造の比較）

3．4　配力筋、組立筋に関する基準の検討

（1）関連基準の調査・分析

表－３．１０に示す機関および企業者を対象として，基準類の調査を実施した。

これらの基準のうち，セグメントの配力筋および組立筋に関する記述がなされているのは，(社) 土木学会 (社) 日本下水道協会：「シールド工事用標準セグメント」（平成２年）のみであった。一方，(社) 土木学会：「コンクリート標準示方書」（昭和 55 年)、(平成８年) をみると，スターラップとしての記述がある。これらの記述の抜粋を表－３．１１に示す。

表－3．10　調査した基準類制定機関一覧

制定機関名称	設計基準	製作仕様書
(社) 土木学会	トンネル標準示方書（シールド編）・同解説 昭和６１年版[1)]	トンネル標準示方書（シールド編）・同解説 昭和６１年版[1)]
(社) 土木学会	トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説 平成８年版[2)]	トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説 平成８年版[2)]
(社) 土木学会・(社) 日本下水道協会	シールド工事用標準セグメント 平成２年　４月[3)]	シールド工事用標準セグメント 平成２年　４月[3)]
東京電力株式会社	地中線土木構造物設計マニュアル 平成９年　９月[4)]	
(財) 鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル 平成９年７月[5)]	
帝都高速度交通営団	シールドトンネル（セグメント）の設計指針（案） 平成１０年　１０月[6)]	鉄筋コンクリートセグメント製作示方書 平成１２年８月[7)]
東京都交通局	東京都地下高速電車 12 号線 シールドトンネル（覆工） 平成８年３月[8)]	土木工事標準仕様書 平成１０年４月[9)]
名古屋市交通局	シールドトンネル設計基準（案） 平成４年１０月[10)]	土木工事標準仕様書 昭和６０年２月[11)]
京都市交通局		鉄筋コンクリートセグメント製作仕様書（案） 昭和６０年２月[12)]
仙台市交通局		土木工事標準仕様書シールド編 昭和５６年１０月[13)]
横浜市交通局	横浜市高速鉄道４号線 土木施設設計基準 第４編　シールドトンネル 平成１２年１０月[14)]	高速鉄道建設土木工事標準仕様書 セグメント製作編 平成１２年４月[15)]
大阪市交通局	大阪市高速電気軌道第７号線 シールドトンネル設計基準（案） 平成５年４月[16)]	地下工事標準仕様書 平成１２年[17)]
福岡市交通局	福岡市高速鉄道３号線土木構造物設計仕様書 平成７年１１月[18)]	鉄筋コンクリートセグメント製作仕様書 平成８年８月[19)]

表－３．１１　基準類における配力筋（せん断補強筋）の考え方

示方書	配力筋の間隔
シールド工事用標準セグメント[3)] 平成２年４月　(社) 土木学会・(社) 日本下水道協会 (7.5　鋼材の加工及び組立　P.319)	・組立用鉄筋は，主鉄筋の位置を確保するとともに，配力筋としての効果も期待するので，その間隔は300㎜以下としなければならない。
コンクリート標準示方書　設計編[2 4)] [平成８年制定]　(社) 土木学会 (6.3.8　構造細目　P.71)	・部材有効高さの3/4倍以下かつ400㎜以下 (棒部材において計算上せん断補強鋼材が必要ない場合) ・棒部材において計算上せん断補強鋼材が必要な場合には，スターラップの間隔は部材の有効高さの1/2で，かつ300㎜以下
コンクリート標準示方書　設計編[2 4)] [平成８年制定]　(社) 土木学会 (12.2.5　帯鉄筋柱　P.169)	・軸方向鉄筋の直径の12倍以下，かつ帯鉄筋の直径の48倍以下
コンクリート標準示方書　設計編[2 4)] [平成８年制定]　(社) 土木学会 (13.2.3　帯鉄筋柱　P.212)	・せん断応力度がτ_{a1}を越えた場合，一般の場合，スターラップの間隔は有効高さの1/2以下となる。
コンクリート標準示方書 [昭和55年版]　(社) 土木学会[2 5)] (45条　構造細目　P.66)	・計算上スターラップが必要なときは，はりの有効高さの1/2以下，またはりの腹部の幅以下とし，計算上必要がないときは，これをはりの有効高さまで大きくしてよい。圧縮鉄筋のある場合には，スターラップの間隔は圧縮鉄筋直径の15倍以下，またスターラップの直径の48倍以下としなければならない。

（２）現状の配力筋・組立筋の調査・分析

前述したように，(社) 土木学会・(社) 日本下水道協会：「シールド工事用標準セグメント」（平成２年）を除いて，何れの機関および企業者も配力筋・組立筋に関する規定を行っていないことから，各機関毎に配筋状況がまちまちである。配力筋の実績では下水道関係が少なめで，鉄道関係が多めの配筋になっていると言われている。

１）配力筋・組立筋の実績調査結果

セグメントメーカーにご協力を頂いて，配力筋の実績（セグメント厚さ，配力筋間隔，主鉄筋量，トンネル用途等）を調査した。調査用サンプルは，過去５年間における各セグメントメーカーの製作実績の中から，外径，用途別に各２種類程度ずつ抽出した。その結果をトンネル用途別にセグメントの厚さと配力筋間隔，主鉄筋量と配力筋間隔についてまとめたものを図－３．１５～図－３．１８に示す。図－３．１５、図－３．１６中の実線は、一つの目安として、セグメント厚さと配力筋間隔が同一となる線を示したものであり、この線より右側は、配力筋間隔がセグメント厚さより狭いことを、左側はセグメント厚さより配力筋間隔が広いことを意味する。

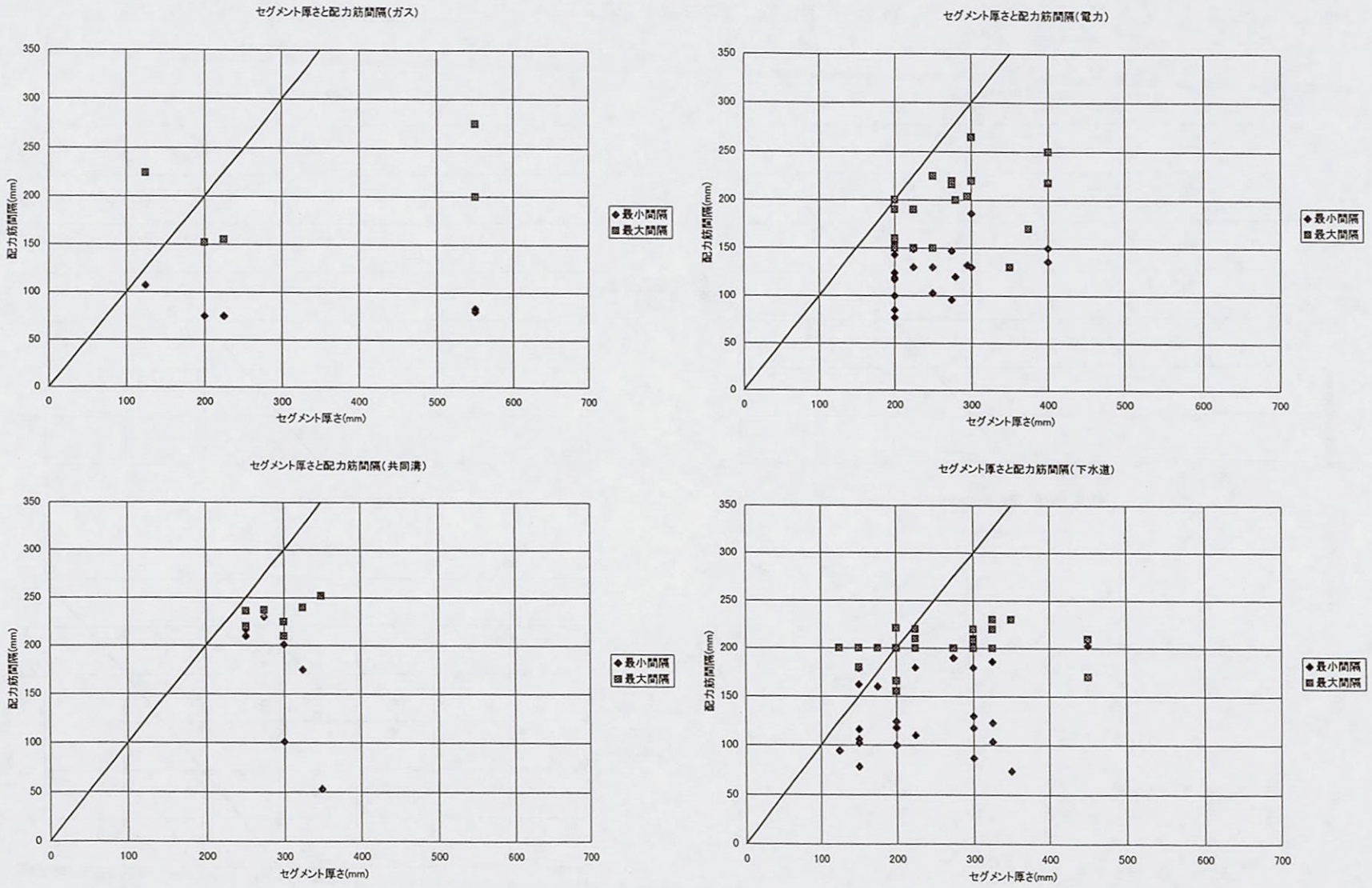
これらの結果から、現状の配力筋は次のような傾向が読みとれる。

① セグメント厚さと配力筋間隔には、何れのトンネル用途においても明確な相関は無く、配力筋間隔は概ね100㎜から250㎜の間にある。

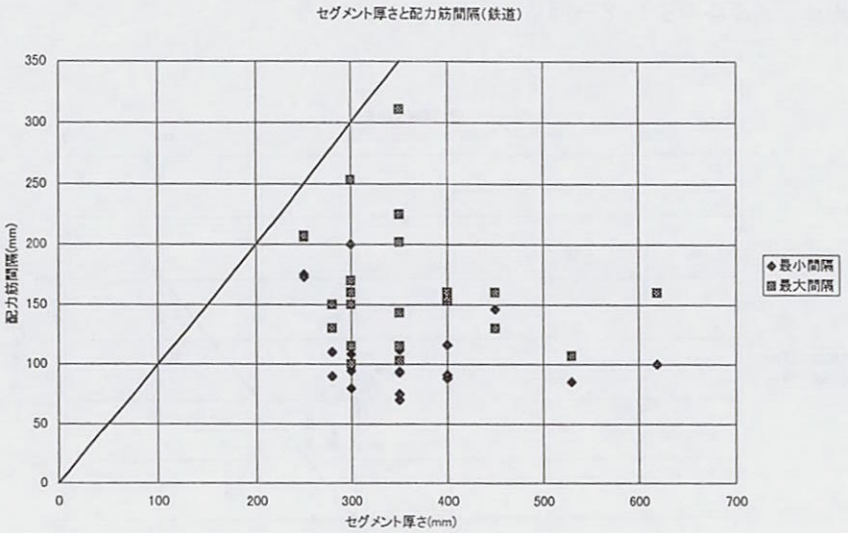
② 調査数の比較的多い電力、下水道、鉄道についてみると、セグメント厚さが比較的薄い下水道では、セグメント厚さに比べ配力筋間隔が広いようである。

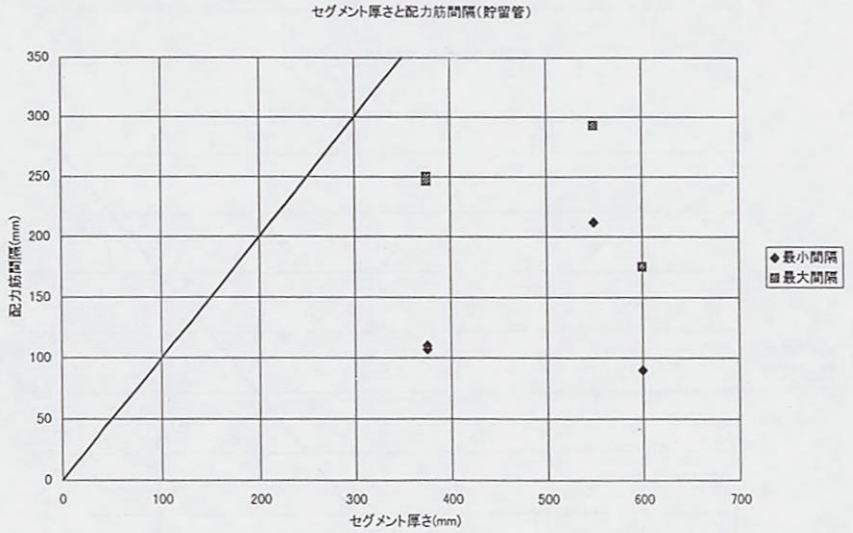
③ 何れのトンネル用途においても、主鉄筋量と配力筋間隔には明確な差は無いようである。

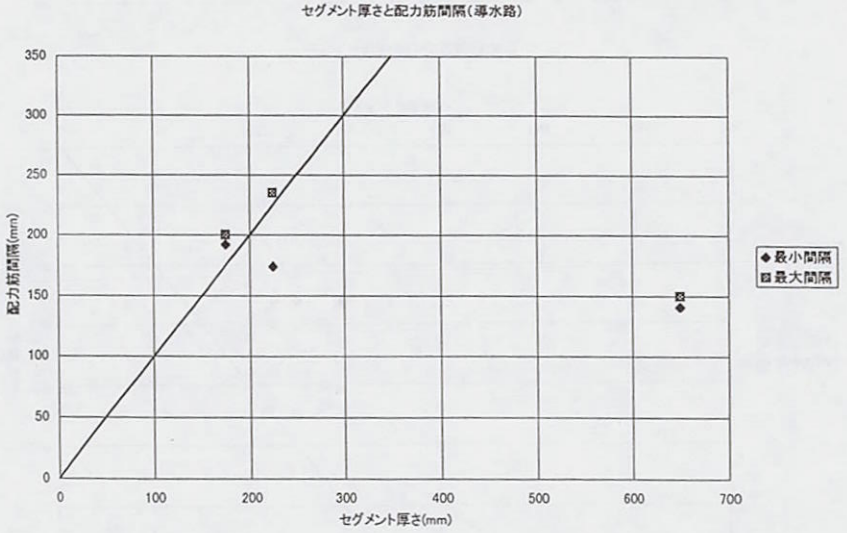
設計における配力筋間隔は、特にせん断補強筋が必要とならない場合、実績を踏まえて概ね120㎜～150㎜程度を目安に配筋しているのが現状である。この点からも、調査結果にセグメント厚さとの相関関係が無いことが分かる。



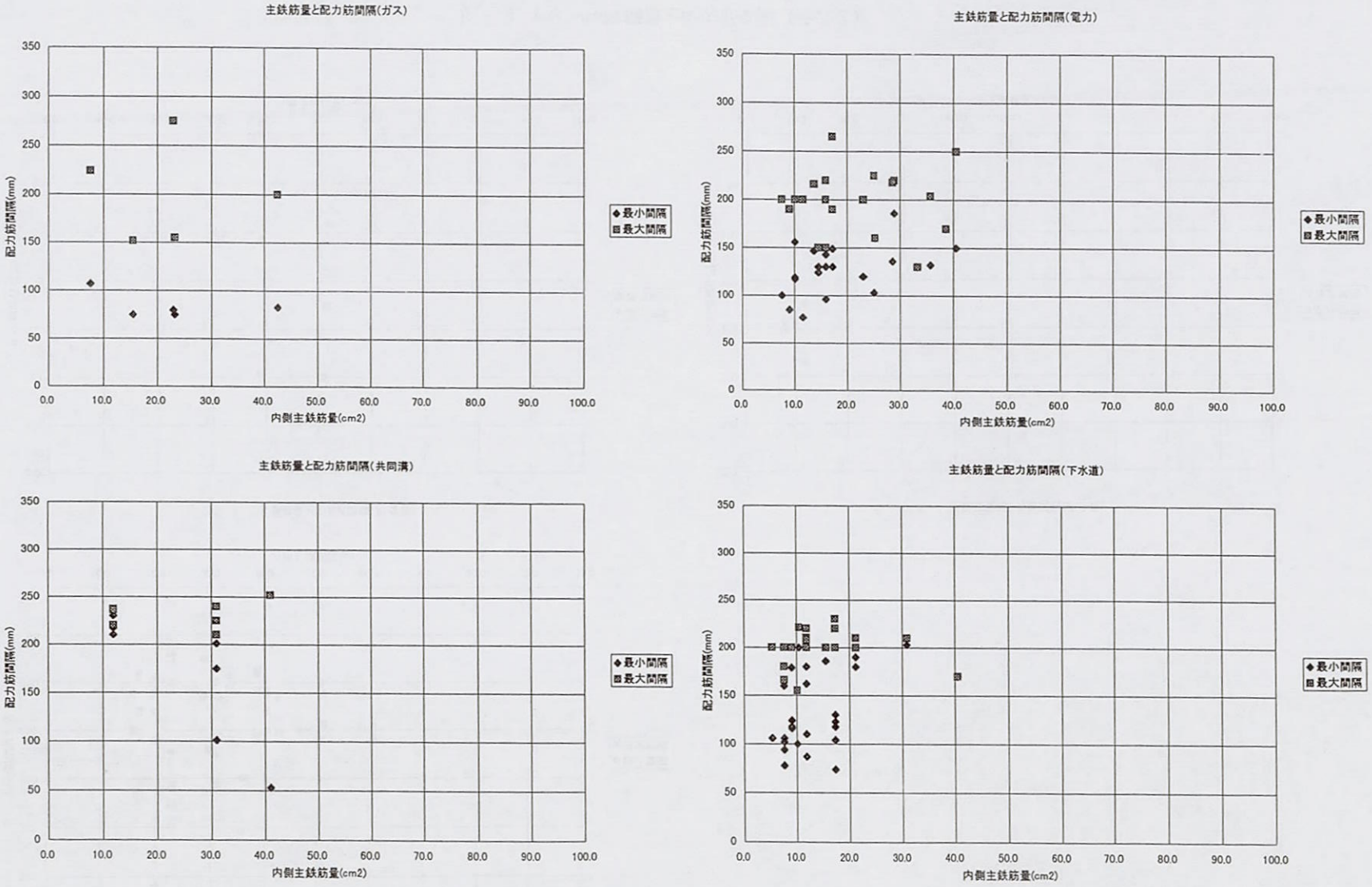
図－3．15　セグメント厚さと配力筋間隔（その1）



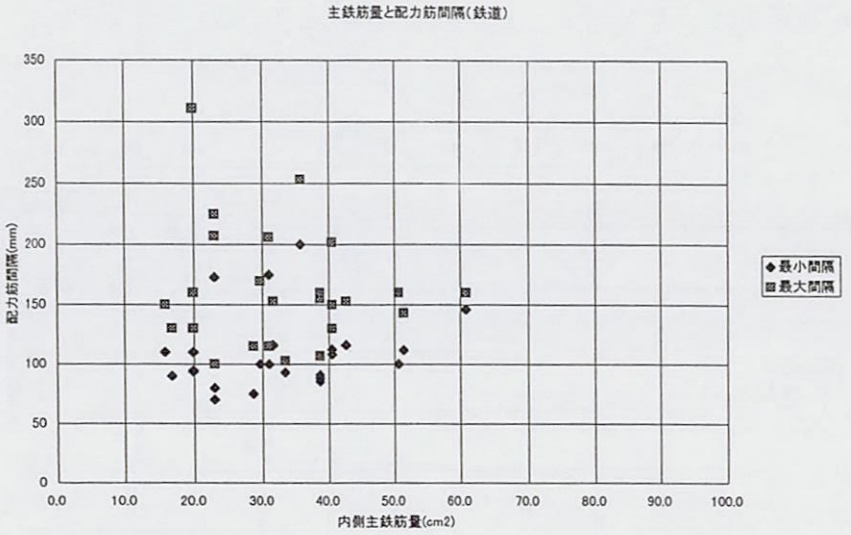


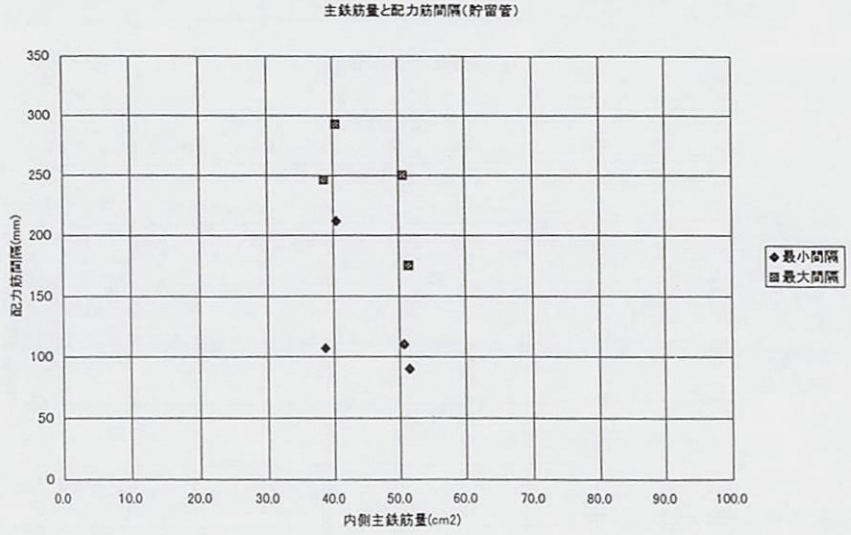


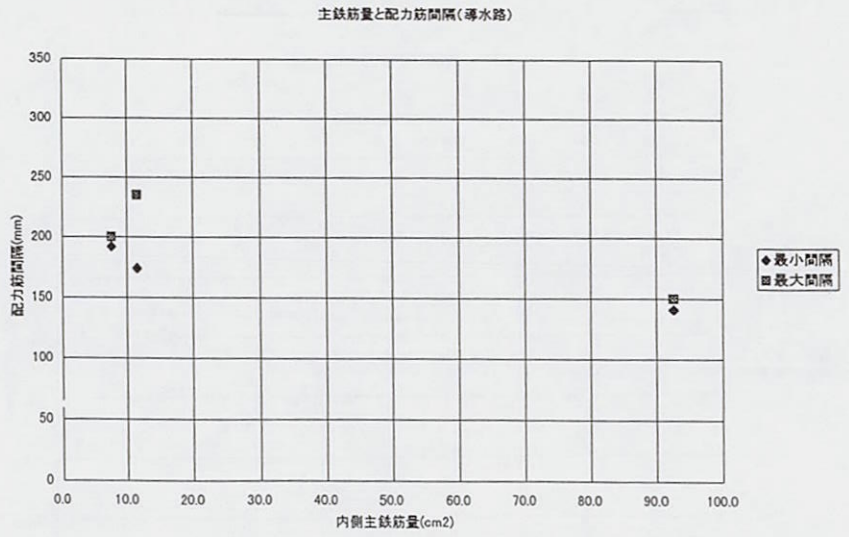
図－3.16　セグメント厚さと配力筋間隔（その2）



図－３．１７　主鉄筋量と配力筋間隔（その１）







図－3．18　主鉄筋量と配力筋間隔（その2）

3．5　二次覆工省略型セグメントの試設計

（1）使用目的別の二次覆工の機能整理

トンネルの使用目的によって二次覆工に期待する機能を表－3．12に整理する。

二次覆工の省略条件は，主にこの表における期待する効果が大きい機能（◎印）を代替する対策を整理することとなる。

（2）各種対策の検討

二次覆工に期待する機能（表－3．12）のうち，期待する効果が大きい項目（◎印）について，対策を整理した結果を表－3．13に示す。

（3）二次覆工省略によるコスト試算

二次覆工に期待する機能（表－3．12）のうち，期待する効果が大きい項目（◎印）の中から，内面平滑化，防食層の形成（鋼材等の防食処理），耐火層（道路トンネル対象）の形成について二次覆工費とのコスト比較を行った。

1）試算上の条件

コスト試算に当たり，以下の条件を設定した。

（a）　セグメント形状は何れも標準型の金具継手を使用したものとし，寸法形状は次の3種類とした（ボルトレスセグメントの試算と同様）。

① 大口径　セグメント内径10．0　m
　セグメント幅1．0m，9分割

② 中口径　セグメント内径　5．0　m　（標準セグメント　C154程度）
　セグメント幅1．0m　6分割

③ 小口径　セグメント内径　3．05m　（標準セグメント　C123程度）
　セグメント幅1．0m　5分割

（b）　二次覆工省略に伴う外径の縮小

二次覆工を省略することにより，一般的にはセグメント外径の縮小が可能となり，これによりセグメント費用，残土処理費，マシン費用等の低減効果があるが，ここではトンネル径の縮小効果を含まず，単純に二次覆工費用とその代替え対策のコスト比較とした。

2）試算結果

コスト試算結果を表－3．14に示す。

小口径で継手金物等の防食処理とボックスの穴埋めを行う場合や，道路トンネル等で防食処理と耐火パネルの設置を行う場合は，これだけでは，二次覆工省略のメリットが見られないが，他の場合については二次覆工を省略することによるコスト低減効果があると判断することができる。

表－3.12　シールドトンネルの使用目的による二次覆工に期待する機能

トンネルの使用目的		トンネル規模	使用目的別のトンネルの特徴	二次覆工の機能										
				蛇行修正	内面平滑化	防食層の形成 *3	止水性の向上	補強効果 *4	耐摩耗性の確保	隔壁の構築	添加用金具の取付	耐火層の形成	防振・防音効果	内水圧の対応
下水道トンネル	汚水管路	小口径	(a) 動水勾配による下水の流下 (b) 硫化水素の発生 (c) 内水圧	*1 ○ (自然流下が原則)	◎ (粗度係数の向上)	◎	○	○						
	合流管路	中口径	(a) 動水勾配による下水の流下 (b) 非降雨時の硫化水素の発生 (c) 降雨時の土砂流入 (d) 内水圧	*1 ○ (自然流下が原則)	◎ (粗度係数の向上)	◎	○	○	○					○
	雨水管路	中口径	(a) 動水勾配による下水の流下 (b) 降雨時の土砂流入 (c) 内水圧	*1 ○ (自然流下が原則)	◎ (粗度係数の向上)	○	○	○	○					○
共同溝トンネル		中～大口径	(a) 隔壁 (b) 添架用金具			○	○	○		◎	○			
道路トンネル		超大口径	(a) 車両事故に伴う火災 (b) 建築限界の確保 (c) 換気設備		○ (換気効率の向上)	○	○	○				◎		
地下河川トンネル		中～大口径	(a) 動水勾配による河川水の流下 (b) 降雨時の土砂流入 (c) 内水圧	○	*2 ○ (粗度係数の向上)	○	○	○	○					*5 ◎
鉄道トンネル		大口径	(a) 建築限界の確保			○	○	○					○	

◎：二次覆工に期待する効果が大きい。（現状では，この項目のために二次覆工をしている）但し，二次覆工の省略ができないものではない。

○　：二次覆工に多少効果を期待する。二次覆工を省略する場合には，対策そのものが必要か否かを含めて対策の検討が必要である。

無印：二次覆工に効果を期待していない。（現状でも，この項目のために二次覆工を施工することはない）

＊1：主にピッチングが問題となる。最近では，施工技術が向上しており，蛇行修正の目的が薄くなっている。

＊2：自然流下で設計された地下河川の場合，粗度係数向上のために期待する効果は大きい。

＊3：◎印は，セグメント本体の防食効果を期待する。○印は，主に金具類の防食効果を期待する。

＊4：軟弱地盤における長期変形，将来荷重等の設計で考慮できない不確定要因に対する余剰強度。

＊5：現状は，セグメントで内水圧に対応する設計が主流となっている。

表－3．13　二次覆工省略のための対策と例

	下水道トンネル			共同溝トンネル	道路トンネル	地下河川トンネル
	蛇行修正	内面平滑化	防食層の形成	隔壁の構築	耐火層の形成	内水圧の対応
二次覆工省略により起こりうる事象	・トンネル内面に起伏が残る。 ・下水が溜まる。 ・汚泥，沈殿物の滞留 →硫化水素の発生要因	・トンネル内面にボルトボックス等の凹凸が残る。	・セグメント本体が硫化水素などの劣化要因物質にさらされる。	・アーチ部の省略による隔壁（中壁）の設置方法に工夫を要する。	・セグメントが火災にさらされる	・セグメントに直接内水圧が作用する。
考えられる問題点	・所定の流速が得られない。 →掃流力の確保 ・所定の流量が確保できない。	・設計粗度係数が満足されない。 ・所定の流量，流速が確保できない。	・セグメント本体が劣化する。 ・金物等が腐食する。 →トンネルの耐力が低下する。	・上，下（下部はインバートとの接合）での支持 ・材料の選択	・火災時にセグメントが熱せられ，強度低下や破損を起こす。 →トンネルの耐力が低下する。	・セグメントに軸引張力が作用し，継手が開くなどによる漏水がおこる。 ・フープテンションの発生
対応策	・インバートコンクリートによる所定の勾配確保。 ・蛇行を考慮して，設計勾配を設定する。 ・粗度係数の向上	・ボルトボックス等の穴埋めを行う。 ・ボルトボックス等の無いまたは，少ないセグメントを採用する。 ・粗度係数の低い材料の採用	①　汚水管渠の場合 ・耐薬品性に優れた材料のセグメントを使用する，または被覆する。 ②　合流管渠の場合 ・汚水管に準ずる。 ③　雨水管渠の場合 ・かぶりコンクリートを厚くする等により，鉄筋の腐食を防止する。 ・鋼材等を防食処理する。 ・腐食しない材料を使用する。 ・鋼材等が露出しないセグメントを使用する。	・プレキャスト材を下部ではインバートと固定し，上部では単純支持する方法等が考えられる。	・トンネル内面に耐火材をつける。 ・トンネル内面に耐火塗装を行う。 ・危険物車両の通行止め	・内水圧にも対応したセグメントを使用する。
対策の具体例	・インバートコンクリートの施工（提案） ・設計勾配の増加（提案） ・トンネル内面の樹脂被覆（提案） 例）レジンコンクリートの粗度係数 n=0.010　程度	・ボルトボックス等の穴埋め ボックスへの吹付モルタル充填工（東京都神田川地下河川トンネルにおいてエマコＳ８８Ｃを用いた実績がある。） ・セグメント内面の樹脂被覆による粗度係数の向上	・かぶりコンクリートの増加 地下河川のセグメントでは，環境を考慮のうえかぶりコンクリートを増加している。 ・鋼材等の防食処理 鋼材およびボルト等に対する防食塗装（二次覆工省略のシールドトンネルにおいて，粉体塗装テリーパウダーが採用された例がある） ・樹脂系材料等の耐薬品性に優れた材料の採用（提案）	・計画例 中部地建：名四共同溝 東北地建：木町通共同溝 関東地建：麻布共同溝等	・耐火被覆材としては，ケイ酸カルシウム板（耐火温度1050度：建築材料）がある。道路トンネルでの実績は沈埋トンネル（大阪南港，神戸港島等）で採用例がある。 ・欧州では，危険物車両火災を想定した耐火被覆材 PROMATECT-H（耐火温度1300度：t=6～25㎜）があり，シールドトンネルへの採用実績としてエルベトンネル等がある。	・地下河川では，既に「地下河川内圧トンネル覆工構造設計要領（案）平成７年３月：(財) 先端建設技術センター」によって，セグメントのみで内水圧に対応するように設計されている。内圧対応型セグメントとしては，リングロックセグメント，NMセグメント，ハニカムセグメント等が提案されている。
対策の併用が必要				・金具等に対する防食対策	・金具等に対する防食対策 ・コンクリートの中性化対策 ・鉄筋腐食対策	・金具等に対する防食対策 ・鉄筋腐食対策

表－３．１４ コスト試算の結果

項目＼断面	小口径断面	中口径断面	大口径断面
継手金物等の防食処理	７７％	５９％	４３％
ボルトボックスの穴埋め処理	２０％	２３％	３７％
耐火パネルの設置	－	－	６４％
計	９７％	８２％	８０％
			１０７％

※　％は二次覆工施工費に対する工費率

※　大口径上段は防食＋穴埋め，下段は道路トンネルを想定して防食＋耐火

次に、これらの試算には，トンネル径の縮小効果を含んでいないため，トンネル径の縮小効果を含めれば，コスト低減効果が大きくなることが考えられるため、トンネル径の縮小による概略の施工費比較（掘削費＋一次覆工費）を行った結果を表－３．１５に示す。また，表－３．１６に断面縮小効果を考慮したコスト比較を示す。これらは，概算であるが，トンネル径の縮小効果を考慮すれば，二次覆工を省略することによって，二次覆工施工費の10～20％のコスト低減が見込める結果となった。

表－３．１５　外径別概略施工費の比較

		小口径断面	中口径断面	大口径断面
二次覆工有り	外径(m)	3.35	5.4	10.0
	トンネル断面積(m²)	8.8	22.9	78.5
	①掘削費（百万円）	880	2,290	7,850
二次覆工省略（外径縮小）	外径(m)	2.90	4.9	9.4
	トンネル断面積(m²)	6.6	18.9	69.4
	②掘削費（百万円）	660	1,890	6,940
差額	①－②	220	400	910
コスト比率	②／①	75%	83%	88%

＊　施工費（掘削費＋一次覆工費）は100,000円／m³　と仮定し，掘削延長を1,000mとした。

表－３．１６ 断面縮小効果を考慮したコスト試算の結果

項目＼断面	小口径断面	中口径断面	大口径断面
継手金物等の防食処理	７５％	８１％	８６％
ボルトボックスの穴埋め処理	６９％	７８％	８５％
耐火パネルの設置	－	－	８７％
計	７７％	８２％	８８％
			８９％

※　％は全体工事費に対する工費率

※　大口径上段は防食＋穴埋め，下段は道路トンネルを想定して防食＋耐火

（4）トンネルの使用目的毎の試設計

1）試設計の種類

試設計を行うトンネルの使用目的は，次の３種類とする。

①下水道トンネル用セグメント

②共同溝トンネル用セグメント

③道路トンネル用セグメント

2）試設計条件

試設計の荷重条件などは，ボルトレスセグメントの適用条件の整理で用いた試設計条件を基本とするが，セグメント径等は外径縮小も考え，表－３．１７のように整理した。また，試設計荷重条件を表－３．１８に示す。

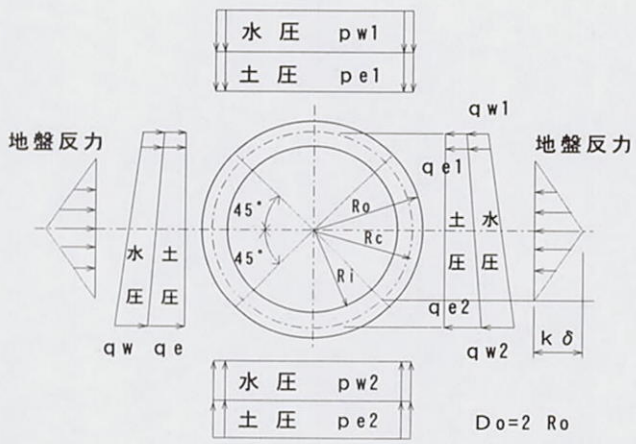
表－３．１７　二次覆工省略時におけるトンネル諸元

	従来の場合の寸法			二次覆工省略の場合の寸法		
	下水道	共同溝	道路	下水道	共同溝	道路
仕上がり内径	2,600	4,500	10,800	2,600	4,500	10,800
二次覆工厚さ	225	200	300	－	－	－
セグメント内径	3,050	4,900	11,400	2,700	4,600	11,000
セグメント外径	3,350	5,400	12,400	3,000	5,000	11,800
蛇行余裕など	二次覆工に含む	二次覆工に含む	二次覆工に含む	50	50	50
耐火被覆など						50

（単位：㎜）

表－３．１８　試設計条件一覧

内径(m)	2.7	4.6	11
外径(m)	3	5	11.8
セグメント厚さ(m)	0.15	0.2	0.4
土被り	小		
想定土質	中位砂質土	中位砂質土	中位砂質土
想定N値	20	20	20
土と水	土水分離	土水分離	土水分離
鉛直土圧	1.5D	1.5D	1.0D
λ	0.5	0.5	0.5
k (kN/m³)	20000	20000	20000
土の単重(kN/m³)	17	17	17
土被り(m)	7	12	12
地下水位（高）	GL－5m		
緩み高さ	4.5	7.5	12
鉛直土圧(N/m²)	56.50	57.50	134.00
鉛直水圧(N/m²)	20.00	70.00	70.00
頂部水平土圧(N/m²)	28.51	29.10	67.70
頂部水平水圧(N/m²)	20.75	71.00	72.00
底部水平土圧(N/m²)	38.49	45.90	107.60
底部水平水圧(N/m²)	49.25	119.00	186.00
鉛直荷重(N/m²)	76.50	127.50	204.00
頂部水平荷重(N/m²)	49.26	100.10	139.70
底部水平荷重(N/m²)	87.74	164.90	293.60
自重(N/m)	3.90	5.20	10.40
自重反力(N/m²)	12.25	16.34	32.67



3）セグメントの種類

試設計に用いるセグメントは，これまでに検討してきたボルトレスセグメントも考えられるが，ここでは，3トンネルとも従来のボルト継手構造セグメントとし、表－３．１９のとおりとした。

表－３．１９　セグメントの種類

	下水道トンネル	共同溝トンネル	道路トンネル
セグメント幅	1,000㎜	1,000㎜	1,500㎜
分割数	５（２Ａ＋２Ｂ＋Ｋ）	６（３Ａ＋２Ｂ＋Ｋ）	１０（７Ａ＋２Ｂ＋Ｋ）
リング継手ボルト数	１３本	２１本	３７本

4）計算モデル

試設計計算は，慣用計算法を用いた。

なお，曲げ剛性の有効率η及び曲げモーメントの割増率ζは，それぞれ表－３．２０の通りとした。

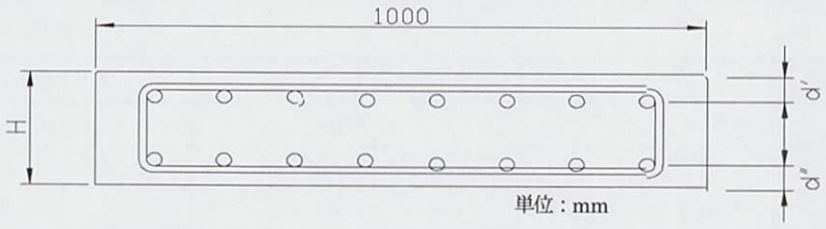
表－３．２０　試設計に用いるηとζ

	η	ζ
下水道トンネル	1.0	0.0
共同溝トンネル	1.0	0.0
道路トンネル	0.8	0.2

5）試設計結果

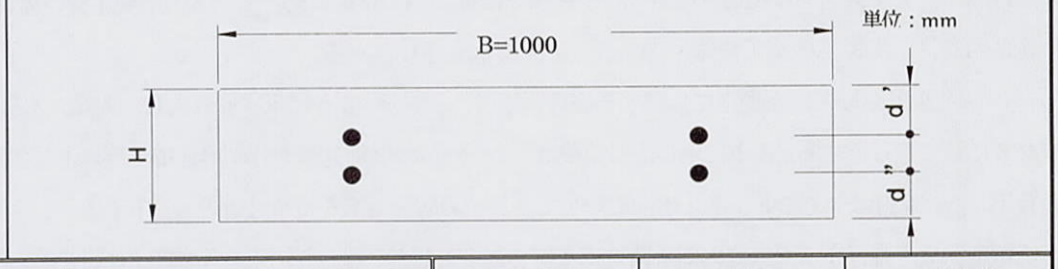
構造計算は，慣用計算法で行った。二次覆工を施工する場合のセグメント諸元は，トンネル径のみを変更したものとし，その他は二次覆工を省略した場合と同一とした。主断面および継手部断面における応力度照査結果を表－３．２１～３．２２に示す。

表－３．２１　主断面応力度照査結果

構造諸元 および 断面構造					
荷重ケース			φ3000	φ5000	φ11800
	幅	B(cm)	100	100	150
	高さ	H(cm)	15	20	40
	外縁側かぶり	d'(cm)	3.5	3.5	4.0
	有効高さ	d(cm)	11.5	16.5	36.0
	外縁側鉄筋量	As'(cm²)	7.602(D13*6)	10.136(D13*8)	34.38(D19*12)
	内縁側鉄筋量	As(cm²)	7.602(D13*6)	10.136 (D13*8)	34.38(D19*12)
正曲最大点	曲げモーメント	M(kN･m/R)	7.40	14.54	235.07
	軸力	N(kN/R)	-88.53	-282.26	-1020.15
	ｺﾝｸﾘｰﾄの圧縮応力度	σc [σca=16] (N/mm²)	-3.3	-3.3	-10.6
	外縁側鉄筋応力度	σso [σsoa=200] (N/mm²)	-21.7	-37.2	-126.5
	内縁側鉄筋応力度	σsi [σsia=200] (N/mm²)	40.0	-9.8	133.6
	中立軸	x(cm)	6.315	14.354	19.562
負曲最大点	曲げモーメント	M(kN･m/R)	-6.16	-12.08	-200.33
	軸力	N(kN/R)	-116.96	-322.63	-1242.59
	ｺﾝｸﾘｰﾄの圧縮応力度	σc [σca=16] (N/mm²)	-2.6	-3.3	-9.3
	外縁側鉄筋応力度	σso [σsoa=200] (N/mm²)	13.0	-3.6	65.8
	内縁側鉄筋応力度	σsi [σsia=200] (N/mm²)	-22.7	-25.8	-115.9
	中立軸	x(cm)	8.595	17.786	24.418
	最大せん断力	Q(kN/R)	10.83	13.77	77.68
	ｺﾝｸﾘｰﾄせん断応力度	τc [τca=0.71] (N/mm²)	0.094	0.120	0.216

※：軸力，応力度符号：引張が正，中立軸：圧縮縁側からの位置

表－３．２２　継手部断面応力度照査結果

構造諸元 および 断面構造				

荷重ケース			φ3000	φ5000	φ11800
	幅	B(cm)	100	100	150
	高さ	H(cm)	15	20	40
	外側ボルト位置	d'(cm)	—	—	18.0
	内側ボルト位置	d(cm)	10.5	14.0	33.5
	外側ボルト断面積	As'(cm²)	—	—	7.060(M24*2)
	内縁ボルト断面積	As(cm²)	4.900(M20*2)	4.900 (M20*2)	7.060(M24*2)
正曲最大点	曲げモーメント	M(kN･m/R)	7.40	14.54	235.08
	軸力	N(kN/R)	-88.53	-282.26	-1530.23
	ｺﾝｸﾘｰﾄの圧縮応力度	σc [σca=16] (N/mm²)	-4.2	-3.9	-11.5
	外側ボルト応力度	σso [σsoa=300] (N/mm²)	—	—	—
	内側ボルト応力度	σsi [σsia=300] (N/mm²)	56.5	圧縮	132.7
	中立軸	x(cm)	5.536	14.458	18.905
負曲最大点	曲げモーメント	M(kN･m/R)	-6.16	-12.08	-200.33
	軸力	N(kN/R)	-116.96	-322.63	-1863.89
	ｺﾝｸﾘｰﾄの圧縮応力度	σc [σca=16] (N/mm²)	-3.6	-3.3	-9.0
	外側ボルト応力度	σso [σsoa=300] (N/mm²)	73.7	圧縮	圧縮
	内側ボルト応力度	σsi [σsia=300] (N/mm²)	—	—	—
	中立軸	x(cm)	6.252	17.786	27.369

※：軸力，応力度符号：引張が正，中立軸：圧縮縁側からの位置

6） 経済性の検討

ここでは，二次覆工省略型セグメントの試設計結果を基に各トンネル用途毎に必要対策比を含めたコスト試算を行った。セグメントの製造費はメーカー見積りに基づいて算定した。セグメント製作費の算定結果を表－３．２３に示す。二次覆工の施工費は，表－３．２４に示す通りとする。

トンネル用途毎の二次覆工に代替する必要対策は，表－３．２５に示す通りとし，対策に必要な費用は表－３．２６に示す通りとする。表中に示した対策費は、メーカへの単価見積もり価格と継手数および対策必要面積等から算出した。対策は全てのトンネル用途に対して金具類の防食対策を行うこととし，下水道トンネルではこれに加えて粗度係数を確保するために内面平滑処理を行うこととした。また，汚水，合流管路に対しては硫化水素対策としてトンネル内面被服を考えることとした。道路トンネルに対してはトンネル火災に対して耐火被覆を行うこととした。これらの試算結果を集計すると，表－３．２７に示す通りとなる。

この試算は，セグメントを通常の金具式継手を有するＲＣ平板形セグメントとしているが，ボルトレスセグメントを採用することが可能な場合には，二次覆工省略に伴う対策費（継手の防食対策，継手ボックスの穴埋め）を省略または簡略化することが可能となり，コスト縮減効果は大きくなる。

表－３．２３　セグメント製造費の試算結果

	二次覆工の有無	トンネル諸元	セグメント製作費 （円／1,000m）
下水道トンネル	有り	φ3350×1000×150	307,290,000
	無し	φ3000×1000×150	310,948,000※1
共同溝トンネル	有り	φ5300×1000×200	553,920,000
	無し	φ5000×1000×200	546,313,000※1
道路トンネル	有り	φ12200×1500×400	2,675,130,000
	無し	φ11800×1500×400	2,648,370,000※1

※１：Ｋセグメントを軸方向挿入式に変更

表－３．２４　二次覆工施工費（単位：円）

	二次覆工厚さ	二次覆工費	セントル費（全損）	合　計
下水道トンネル	22.5cm	79,875,000	21,000,000	100,875,000
共同溝トンネル	25.0cm	149,226,000	41,000,000	190,226,000
道路トンネル	30.0cm	418,460,000	149,000,000	567,460,000

表－３．２５　トンネル用途毎の二次覆工に代替する必要対策

トンネル用途	下水道トンネル	共同溝トンネル	道路トンネル
継手の防食対策	○	○	○
継手ボックスの穴埋め	○	－	－
トンネル内面被覆	△	－	－
耐火被覆	－	－	○

※：表中の△は汚水または合流管路の場合に必要となる対策。

表－３．２６　二次覆工に代替する対策費（単位：円）

トンネル用途	下水道トンネル	共同溝トンネル	道路トンネル
継手の防食対策	77,740,000	111,870,000	155,330,960
継手ボックスの穴埋め	19,996,200	－	－
トンネル内面被覆	(139,957,953)	－	－
耐火被覆	－	－	382,017,667
合　　計	97,736,200 (237,694,153)	111,870,000	537,348,627

※：（ ）内は汚水，合流管路を対象とした場合

表－３．２７　二次覆工の有無による直接工事費の概算比較（単位：千円/1000m）

トンネル用途	下水道トンネル			共同溝トンネル		道路トンネル	
二次覆工	有り	省略 (雨水)	省略 (汚水,合流)	有り	省略	有り	省略
一次覆工費 (掘削費含む)	880,000	740,481	740,481	2,290,000	1,979,148	11,690,000	11,086,191
二次覆工費	100,875	－	－	190,226	－	567,460	－
二次覆工省略対策費	－	97,736 (0)	237,694 (139,958)	－	111,870 (0)	－	537,349 (382,018)
合　　計	980,875	838,217 (740,481)	978,175 (880,439)	2,480,226	2,091,018 (1,979,148)	12,257,460	11,623,540 (11,468,209)
比　　率	100%	85.5% (75.5%)	99.7% (89.8%)	100%	84.3% (79.8%)	100%	94.8% (93.6%)

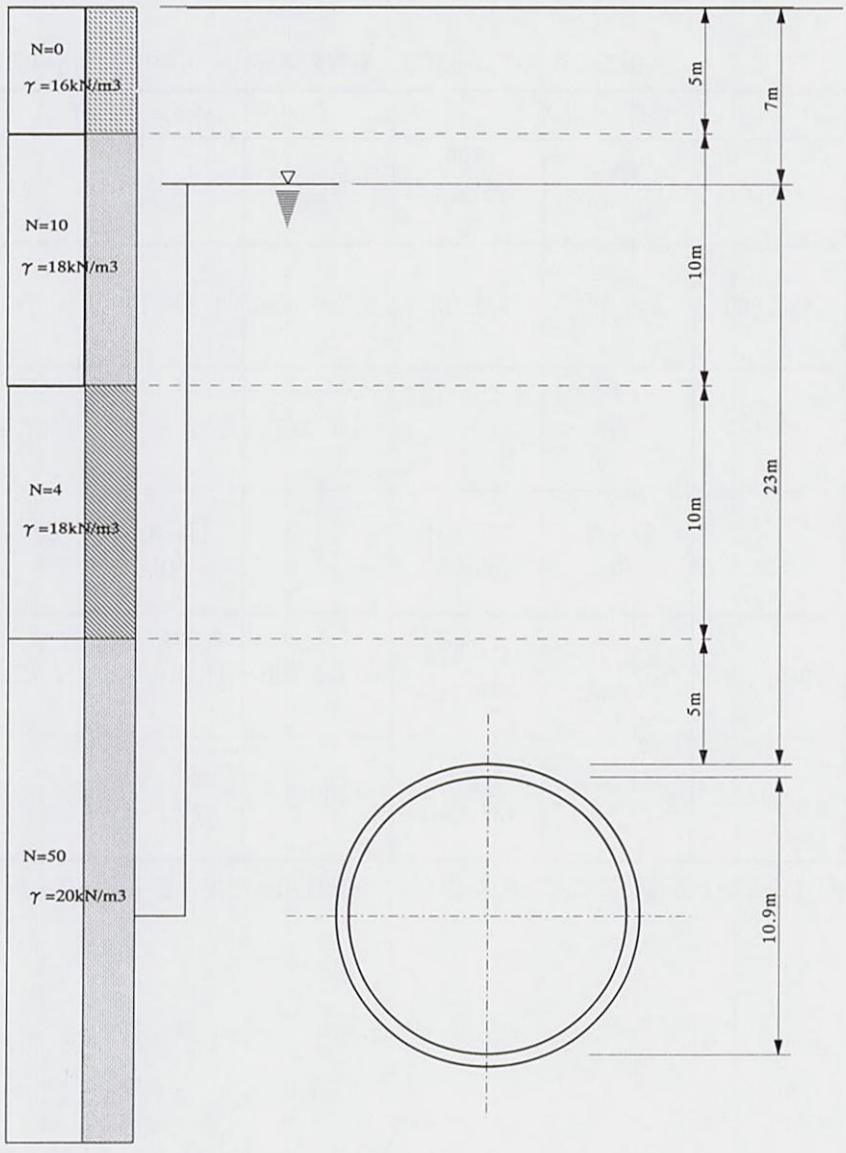
※：（ ）内は二次覆工省略時にボルトレスセグメントを採用した場合を想定したもの。

3．6　大口径シールドトンネルの合理化検討

大口径シールドトンネルのセグメントの設計において、自重によって発生する曲げモーメントが設計断面力に占める割合が大きいことは知られている。このため、コンクリート強度を増加させることによってセグメントの厚さを極力小さくすることや、コンクリートの単位体積重量を軽減することによる自重の軽減は、セグメントの製造コストを低減する効果が期待される。そこで、大口径シールドトンネルの合理化を図るために、セグメントに高強度軽量コンクリートを用いた場合の試設計を行い、その結果に基づいて経済性の評価を行った。

（1）試設計条件

試設計に用いた土質条件およびトンネル規模は、図－３．１９および表－３．２８に示すとおりである。



図－３．１９　試設計条件

表－３．２８　試設計条件

	普通コンクリート	高強度コンクリート	高強度軽量コンクリート
設計基準強度σck	48N/mm²	60N/mm²	48N/mm²
弾性係数　Ec	39kN/mm²	51kN/mm²	19kN/mm²
単位体積重量	26kN/m³	26kN/m³	20kN/m³
鉄筋量（圧縮，引張）	１％	１％	１％
セグメント厚さ	35～45cm	35～45cm	35～45cm
セグメント幅	1,500mm	1,500mm	1,500mm
セグメント分割	９等分割	９等分割	９等分割
側方土圧係数λ	0.4		
地盤反力係数κ	50kN/m³		

（２）試設計結果

試設計結果を表－３．２９～表－３．３１および図－３．２０～図－３．２２に示す。

表－３．２９　試設計結果（普通コンクリート）

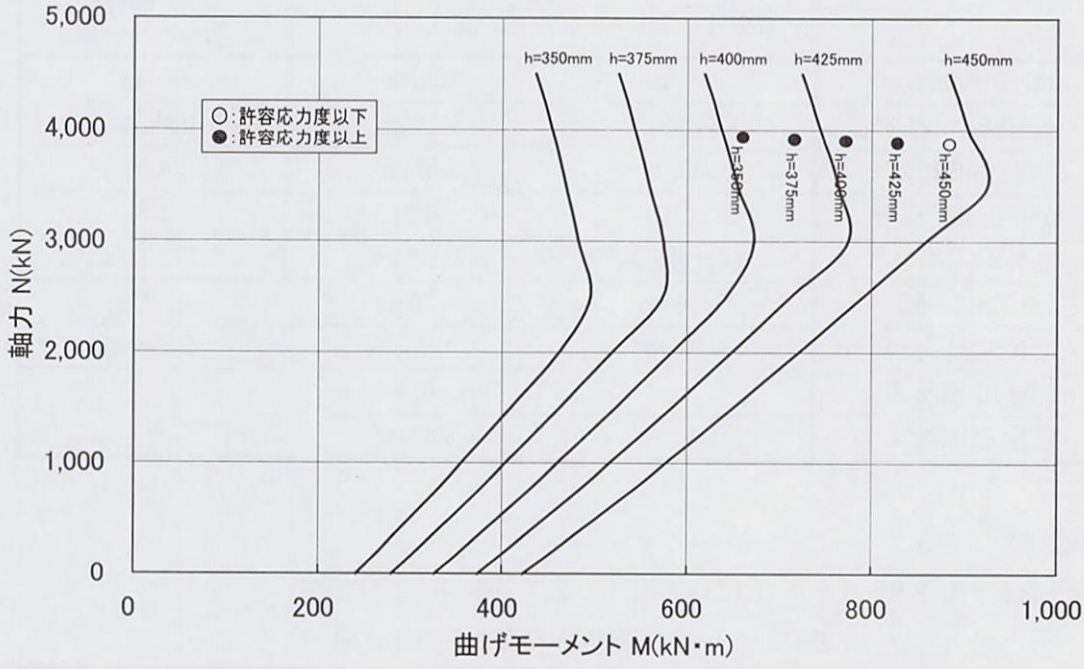
セグメント厚さ(mm)		350	375	400	425	450
正曲げ	M(kN-m)	660.46	716.15	771.77	827.81	883.98
	N(kN)	3935.04	3916.68	3899.95	3884.41	3870.21
負曲げ	M(kN-m)	370.02	419.26	467.68	516.95	566.09
	N(kN)	4817.25	4827.91	4839.47	4939.86	4957.08
せん断力(kN)		503.54	544.08	584.27	624.63	664.82

表－３．３０　試設計結果（高強度コンクリート）

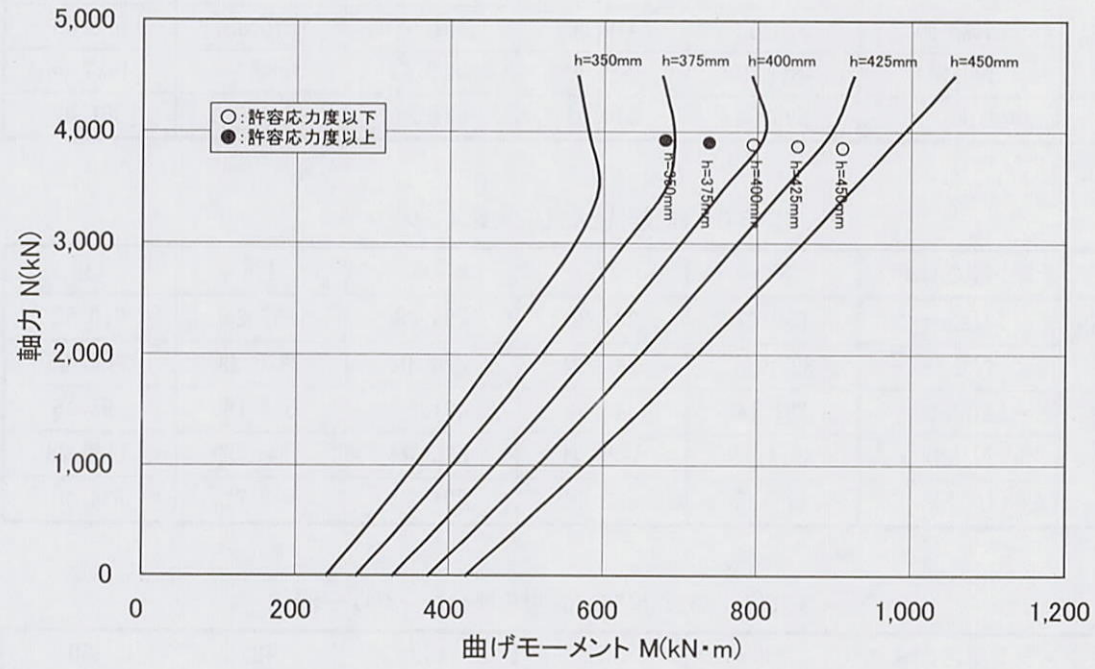
セグメント厚さ(mm)		350	375	400	425	450
正曲げ	M(kN-m)	680.07	737.26	794.68	852.29	910.50
	N(kN)	3921.97	3903.21	3886.06	3870.23	3855.35
負曲げ	M(kN-m)	391.14	441.54	491.66	542.19	593.46
	N(kN)	4814.78	4825.71	4923.74	4941.02	4979.29
せん断力(kN)		518.26	559.68	601.30	642.71	684.40

表－３．３１　試設計結果（高強度軽量コンクリート）

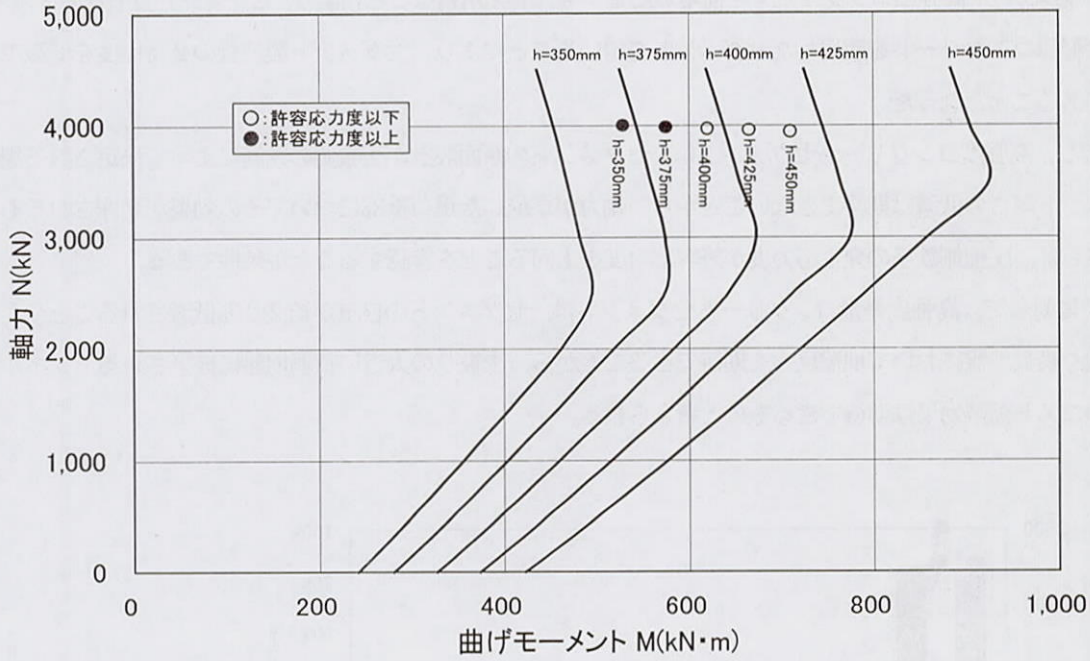
セグメント厚さ(mm)		350	375	400	425	450
正曲げ	M(kN-m)	528.98	574.89	620.17	665.17	709.95
	N(kN)	4002.93	3986.65	3972.28	3959.29	3947.61
負曲げ	M(kN-m)	299.26	330.09	357.95	385.60	411.54
	N(kN)	4709.45	4745.65	4751.89	4738.58	4744.13
せん断力(kN)		404.92	438.63	471.55	504.09	536.03



図－３．２０　普通コンクリートの発生断面力と許容耐力の比較（正曲げ）



図－３．２１　高強度コンクリートの発生断面力と許容耐力の比較（正曲げ）



図－３．２２　高強度軽量コンクリートの発生断面力と許容耐力の比較（正曲げ）

この結果から，それぞれのコンクリートを用いたセグメントの最低厚さは、表－３．３２のとおりとなる。

表－３．３２　セグメントの必要最低厚さ

使用コンクリート	設計基準強度	最低必要厚さ
普通コンクリート	48N/mm²	450mm
高強度コンクリート	60N/mm²	400mm
高強度軽量コンクリート*	48N/mm²	400mm

＊：ここでいう高強度は、一般的な軽量コンクリート強度に対する高強度を意味する。

ただし、この最低厚さの算定にあたっては、高強度コンクリートセグメントの圧縮鉄筋応力度が許容応力度を超えてもこれを無視している。このため、高強度コンクリートをセグメントに用いてセグメント厚さを低減する場合には、実験などによって圧縮鉄筋応力度が許容応力度を超えてもセグメントの構造に問題がないことを確認する必要がある。

また、高強度軽量コンクリートはコンクリートとしての製品化は完了しているがセグメントの適用例がないことから、採用にあたっては実験等によってその安全性を確認し、設計方法の検証を行う必要がある。

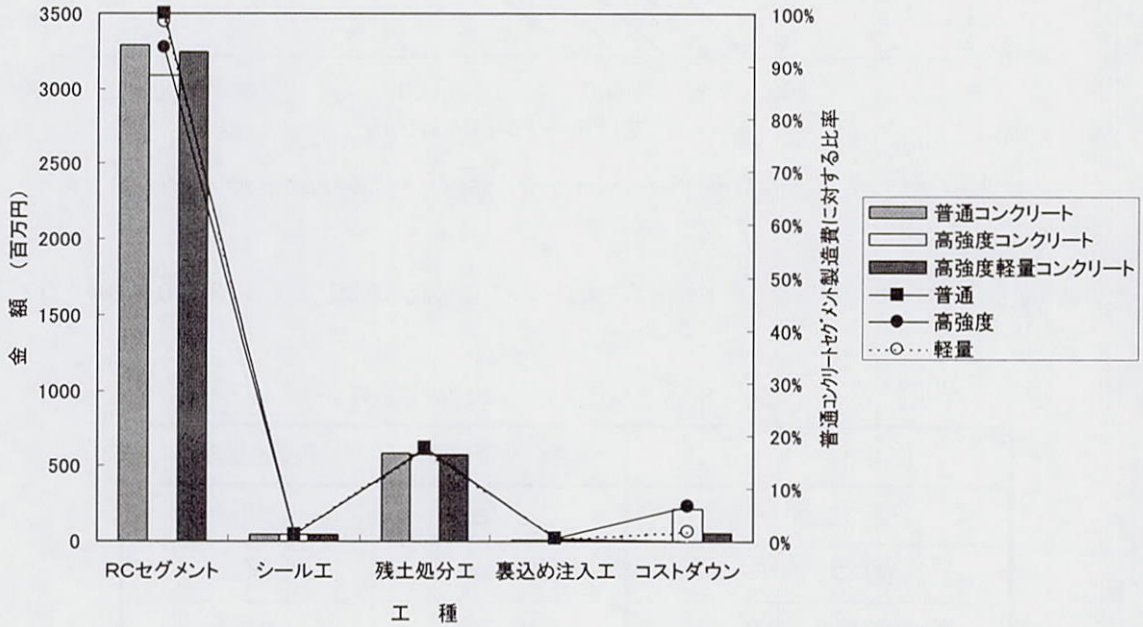
（３）経済性の評価

それぞれのコンクリートを用いたセグメントの製造コストおよびコストに差が生じると考えられる項目について直接工事費を比較した。コストの比較に当って，セグメントは７２０リング（トンネル延長１，０８０m）とした。コスト比較の結果を図－３．２３および図－３．２４に示す。

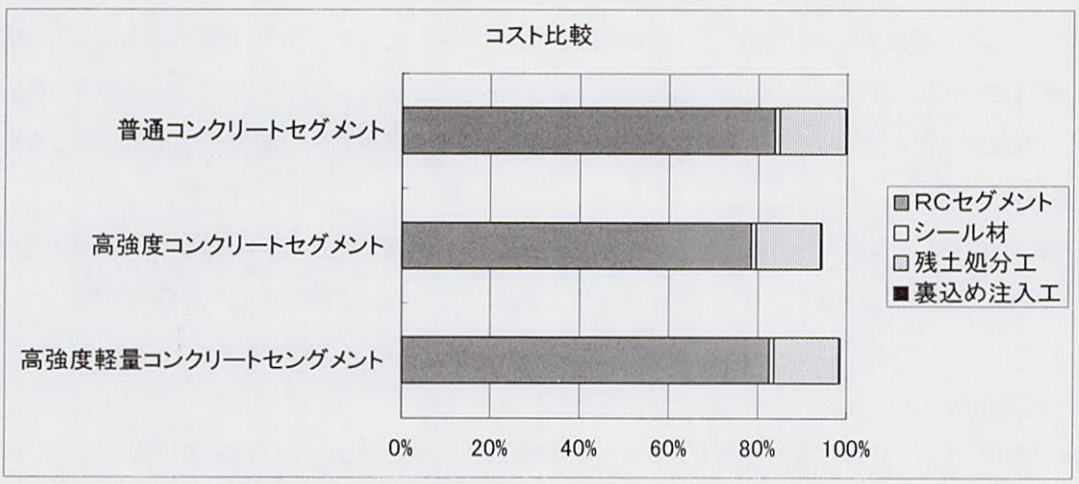
この結果から，高強度コンクリートを使用したセグメントを用いることにより，セグメント製造費の７％程度を，高強度軽量コンクリートを使用したセグメントを用いることにより，セグメント製造費の２％程度を低減できる可能性があることとなった。

ただし，高強度コンクリートセグメントは，セグメントの断面設計が引張側の鉄筋によって決定される場合にはセグメント厚さの低減は期待できないことから，軸力が卓越した重荷重部においてその効果が発揮されるものであり，さらに，圧縮側鉄筋の発生応力度が許容応力度を上回ることを容認することが条件である。

これに対して，高強度軽量コンクリートセグメントは，セグメントの自重が約２０％低減されることや，弾性係数が低く良質地盤において地盤反力を期待できることから，土被りの大きい軟弱地盤に構築されるトンネルを除いてそのコスト縮減効果は期待できるものと考えられる。



図－３．２３　セグメントの製造コストの比較



図－３．２４　セグメントの違いによるコストの比較

4．コンクリートセグメント製作の合理化

セグメント製作の合理化によるコストダウンの可能性ある項目の検討として、コンクリート設計基準強度、継手構造、水中養生、配筋、型枠の転用回数、補修基準、検査回数の各項目について製作コスト分析、セグメント製作メーカに対するヒアリング等により製作仕様の合理化案について検討を行った。さらに、「コンクリート設計基準強度の低減」については、脱型時およびジャッキ推力等に対する最小設計基準強度の検討を、「高流動コンクリートの適用」については、採用実績調査および製作コスト分析を行うとともに試設計によるコスト縮減効果の算定を、「検査回数の低減」については、重複検査項目の軽減・省略による検査項目の見直しを、「セグメント補修基準(案)」については、補修が必要な判断基準を補修基準（案）として示すとともに、補修基準（案）を採用した場合の製作歩掛り調査に基づいたコスト縮減効果の試算を行った。以下に検討結果を示す。

4．1 セグメント製作による合理化の検討

（1）セグメント製作コストの分析

下水道用標準セグメント（C139）を例としてセグメントの製作コストを調査した。調査の結果，製作コストは基本的にメーカーによらず概ね一定であり，表－4．1に示すコスト構成であった。

表－4.1　セグメントの価格構成

下水道シールド工事用セグメント（C１３９）					
セグメント外径	4,300mm				
厚×幅×分割数	175mm×1,000mm×6 分割				
重　　量	6.00t				
体　　積	2.27m³				
項　　目	数量	単位	価格構成比率（%）		
			A　社	B　社	C　社
1．材料名					
コンクリート(σ_{ck}=42N/mm²)	2.34	m3	7.3	7.5	7.5
鉄筋（SD295）	366.3	kg	3.9	3.6	4.0
継手金具	56	式	12.5	14.2	13.4
注入孔	6	個	1.8	1.4	2.0
ボルト・ナット等	28	式	1.3	1.1	1.5
小　計			26.8	27.8	28.4
2．加工費					
コンクリート加工	1	式	11.8	10.4	12.4
鋼材加工	1	式	5.9	8.5	6.8
小　計			17.7	18.9	19.2
直接費計			44.5	46.7	47.5
3．型枠費	1	式	8.4	11.2	9.9
4．運搬費	6	ton	8.0	7.9	8.3
5．諸経費	1	式	39.1	34.2	34.3
合　計			100.0	100.0	100.0
1リング当り単価			376,570	375,245	366,010
1m³当り単価			165,890	165,452	161,380

この結果から，セグメントの価格に占める割合の大きいものとして継手金具（約13%），コンクリート加工費（約12%）が挙げられる。

（2）コストダウンの可能性のある項目の抽出

セグメント製作コストの分析結果に基づいて，セグメント製作費に関するコストダウンの可能性のある項目の抽出を行った。抽出したコストダウン項目および一次評価の結果を表－4．2に示す。この結果，コンクリート強度の低減，ボルトレス構造の採用，補修基準の明確化，水中養生の省略，配筋の簡素化，型枠の転用回数の増加，検査回数の低減などの項目が効果がある項目として挙げられる。

表－4．2　セグメント製作に関するコストダウン要因の抽出結果

項　　目	対　　策	期待される効果	一次評価
1．材　料			
コンクリート	設計基準強度の低減	材料費の低減	○
		変動係数の低下による配合強度の低減	
	スランプの増加	ワーカビリチーの改善	△
		締固振動低減による作業環境の改善	
		表面仕上げ性の改善	
	高性能減水剤の不使用	材料費の低減（海外資材の利用含む）	○
鉄　　筋	高強度鉄筋の使用	鉄筋量の低減	×
継　　手	ボルトレス構造の採用	材料費の低減	○
		配筋の簡素化	
	溶接の低減（代替）	製作性の向上（自動製作含む）	△
2．加　工			
コンクリート	レミコンの利用	設備の低減	×
		管理費の低減	
	締固め方法の簡易化	設備の低減	△
		作業環境の改善	
	仕上げ基準の明確化	作業の簡略化	×
	水中養生の省略	設備の低減	○
		廃水処理の削減	
		工程の省略	
		管理費の低減	
鉄　　筋	組立後の曲げ加工	組立作業の低減（自動組立の採用を含む）	△
	配筋の簡素化	鉄筋量の低減	○
		組立作業の低減（自動組立の採用を含む）	
3．型　枠			
構　　造	型枠構造の簡素化	型枠製作費の低減	×
数　　量	製作期間の長期化	型枠数の低減	○
4．管　理			
補　　修	補修基準の明確化	作業の簡略化	○
検　　査	検査回数の低減	検査費用の低減	○

注）一次評価の記号 ―○：コスト縮減効果が期待できる，△：コスト縮減効果は不明，×：コスト縮減効果は期待できない

（3）製作仕様の合理化案

セグメント製作に関するコストダウン項目の抽出結果に基づいて、考えられる製作仕様の合理化案を表－4．3に示す。なお、ここで示した期待される効果は、セグメント製作メーカへのヒアリング結果によるものである。下表に示す継手の項目を除いた項目について制限を緩和することによってトータルとして3～6％程度のコストダウンの可能性があることが分かった。

表－4．3　製作仕様の合理化案

項　　目	現　　状	合 理 化 案	期待される効果	問題点および課題
1．材　料				
コンクリート	セグメントに使用するコンクリートの設計基準強度はその下限をσ_{ck}=42N/mm^{2}としている。	セグメントに使用するコンクリート設計基準強度の下限をσ_{ck}=30N/mm^{2}とする。	セメント量の低減や高性能減水材が不要となることで材料費の低減が期待できる。その効果は，机上検討で1,000円/m^{3}程度である。	① 試験練り等による具体的な検討が必要。 ② 脱型時のコンクリート強度を確保するために養生時間が増加しコスト増になる可能性がある。 ③ コンクリートの水密性が低下することが予想される。
継　　手	セグメント継手の強度が規定されており，ボルト等によって確実に接続する。	設計条件に応じて継手金具を省略したボルトレスセグメントを採用する。	継手金具の省略による材料費の低減，金具の清掃，塗装などに要する労務費の低減が期待される。その効果は価格構成比の調査結果に基づけばセグメント製造費の 10～15%程度である。	① 適用地盤等の制限を受けると予想されることから設計法との整合が必要。 ② セグメントの構造によっては型枠費の増加が予想される。
2．加　工				
水中養生	一般的には水中養生を義務づけていないが，大規模なセグメントの製作などにおいては義務づけているものがある。	水中養生を全て省略する。	水中養生に必要な設備を低減でき，工程が省略できる。設備費以外に要するコストとしては 1,000円/m^{3}程度である。	燥収収縮などによるひび割れが増加する。
配　　筋	特に明確な規定はない。	組立筋や配力筋の合理化を推進する。	鉄筋量の低減や加工費の低減が期待できコスト縮減効果は大きいと考えられる。また，鉄筋の自動組立に向けても効果が期待できる。	① 設計との整合をとる必要がある。 ② 具体的な配筋の基準を整備する必要がある。
3．型　枠				
型 枠 数	製作期間が限定されているため，製作サイクルから型枠数が決定している。	製作期間を長期間とることによって必要型枠数を低減する。	型枠の転用回数を増加することでセグメントの製作費に占める型枠費の比率を低減することが可能となる。	① 転用回数の増加によって型枠の精度に狂いが生じる可能性がある。 ② セグメントの保管期間が長くなるため，ストックヤードの確保が必要。
4．管　理				
補　　修	有害な損傷，ひび割れ等がないこと。特に定量的な規定はない。	具体的に補修を必要とする水準を定量的に示す。	監督員の主観による補修の判断がなくなり，最小限の補修で出荷が可能となる。補修に要する労務費の低減が可能と考えられるが具体的なコスト試算にはいたっていない。	① 発注者の理解と管理の統一が必要。 ② 具体的な数値を決めることによって検査に要する費用が増加する可能性がある。
検　　査	1 回/200 リング～1 回/500 リング程度で立会い検査が行われることが多い。この他に，試作時の検査が行われる。	強度試験は試作時の試験のみに限定する。また，基本的に立会い試験は省略する。	検査費用ならびに立会い費用の低減が期待される。試験費用は1,000 円/m^{3}程度と試算される。ただし，この項目は一般にセグメント本体価格には含まれていない。	① 強度試験に代る管理方法を確立する必要がある。

（4）コストダウンに向けた問題点と課題

製作に関する制限を緩和することによって3～6％程度のコストダウンの可能性があることが示された。しかしながら，今回の検討において抽出した製作上のコストダウン項目は設計や施工と密接に関連しているものであり，無条件に制限を緩和することはできない。そこで，今回抽出した製作上のコストダウン項目に関する問題点および課題を整理した。

① 現状，コンクリートの設計基準強度はσ_{ck}=42N/㎟以上を用いるようになっている。この設計基準強度の下限値を緩和することによってコンクリート材料費の低減をはかることを検討した。目標値としてσ_{ck}=30N/㎟以上を検討した結果，机上検討では1,000円／㎥程度のコストダウン効果が期待できることが分かった。しかしながら，コンクリートの強度を低減することによるコンクリート品質の低下に伴ってセグメントの耐久性が確保できるか，脱型強度の確保に関して製作サイクルへの影響がないか，ジャッキ推力等の施工時荷重に対する安全性は確保できるかなどについて詳細な検討を行う必要がある。

② 継手金具の省略によって材料費の低減の他，継手の清掃，塗装などの労務費も低減できることから，セグメント製造費に対して最大10％程度のコストダウン効果が期待できる。しかしながら，ボルトレス構造の採用は適用地盤等の制限を受けることが予想されるため，全てのトンネルに適用することは難しい。そこで，ボルトレス構造を適用可能な条件を検討する必要がある。

③ 水中養生の省略によって1,000円／㎥程度のコストダウン効果が期待できることが判った。しかしながら，水中養生の省略によって乾燥収縮等によるひび割れの発生が懸念されるため，セグメント規模，作用水圧，用途などによって，水中養生の省略に伴う問題点の抽出を行う必要がある。

④ 配筋の合理化は材料費ならびに加工費の低減が期待でき，そのコストダウン効果は1,500円／㎥程度と推定される。配筋の合理化をはかるためには，現状の基準との整合をはかりながら具体的な配筋の基準を整備する必要がある。

⑤ 製作期間を十分に確保することによって型枠数の低減などの効果が期待できる。セグメントの価格構成として約8.4～11.2%であることから型枠の転用回数を2倍にすることによって必要型枠数が1/2となるため、約5%程度のコストダウンが考えられる。ただし、このとき型枠精度を確保できる転用回数，セグメントがメーカーの在庫品とならないような発注形態などの検討が必要となる。

⑥ 補修に関する基準を検討したが，具体的なコストダウン効果は明確となっていない。補修の簡素化によるコストダウン効果を把握するためには具体的な試行を行って労務費の低減がどの程度期待できるかを把握する必要がある。また，一部でも従来と同様の水準を要求する発注者があれば，メーカーはその発注者に対応できるように要員を確保する必要が生じるためコストダウンメリットは小さくなる。そこで，全ての発注者が同様の水準で補修の簡素化に取組む必要がある。

⑦ 検査に要する費用はセグメント本体の価格には含まれていないものの，立会試験を含む検査費用は1,000円／㎥程度と推定されることから，これを簡略化することによる効果は大きいと考えられる。しかしながら，従来の試験に代る品質確認方法の確率が必要である。

（5）今後の検討項目

今後の検討項目として以下の項目が挙げられる。

① コンクリートの設計基準強度を低減することによる正確なコストダウン効果を把握するために，コンクリートの試験練りを実施し，脱型強度の発現時間および標準的な配合を把握する。

② コンクリートの設計基準強度を低減した場合のコンクリートの耐久性，施工時荷重に対する安全性を検討する。

③ ボルトレスセグメントの採用によるコストダウン効果を具体的に試算すると共に，適用条件を整理する。

④ 水中養生の省略に伴う問題点を整理し，省略が可能なセグメントの規模，地下水圧，使用目的を検討する。

⑤ 補修の簡素化による具体的なコストダウン効果を把握するための検討を行う。また，補修基準を各発注者に提示し，問題点の抽出を行う。

⑥ 現行の強度試験に代る合理的な品質確認方法を検討する。

4．2 コンクリートの最小設計基準強度の検討

（1）最小設計基準強度に関する検討項目

コンクリートの設計基準強度を低減することによるセグメント製作費の低減効果を検討するにあたり，セグメントに用いるコンクリートに必要な最小設計基準強度を設定する必要がある。最小設計基準強度を設定するために必要な検討項目として以下の３項目が挙げられる。

① セグメントの断面設計を行う上で必要となる最小設計基準強度

② ジャッキ推力に対して必要な最小設計基準強度

③ 脱型に必要な最小設計基準強度

それぞれの項目について以下に検討結果を示す。

（2） 最小設計基準強度の検討

1） セグメントの断面設計を行う上で必要となる最小設計基準強度の検討

セグメントの断面設計を行う際に必要となる最小設計基準強度は，土被り，土質，地下水位等の設計条件によって異なってくる。このため，一義的に最小設計基準強度を設定することは困難である。

過去の設計事例によると，コンクリートの許容応力度を 10N/mm² と設定しても設計が成立するものが多く存在することから，ここでは許容応力度の最低値を 10N/mm² と仮定して設計基準強度を設定するものとする。（社）土木学会：「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説、（平成８年）によると，コンクリートの許容圧縮応力度は次式によって求められる。

$$\sigma ca = \sigma ck/2.8+1 \ (N/mm^2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.1)$$

ここで，コンクリートの許容圧縮応力度を 10N/mm² とすると必要な設計基準強度は，

$$\begin{aligned} \sigma ck &= (\sigma ca - 1) \times 2.8 \\ &= (10 - 1) \times 2.8 \\ &= 25.2 \ N/mm^2 \end{aligned} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2)$$

となる。

2） ジャッキ推力に対して必要な最小設計基準強度の検討

標準セグメント（下水道シールド工事用セグメント）においてジャッキ推力によって発生する圧縮応力度を表-４．４に示す。この表は，（社）土木学会・（社）日本下水道協会「シールド工事用標準セグメント」に規定されているセグメントの構造と，それぞれのセグメントに対して要求されている許容ジャッキ推力に基づいて算定している。この結果から，最も大きな圧縮応力度は約 15N/mm² となる。このことから，標準セグメントにおいては最小許容圧縮応力度を 15N/mm² と設定することによって，ジャッキ推力に対するコンクリートの必要強度を満足することとなる。この許容応力度を満足するようにコンクリートの設計基準強度を設定すると，以下のようになる。

表-4.4　ジャッキ推力によって発生する圧縮応力度[3)]

標準番号	外径	幅	種別	厚さ	シールドジャッキ			圧縮応力度
					推力	基数	総推力	
	(mm)	(mm)		(mm)	(セグメントの許容耐力)(×10kN)	(基)	(×10kN)	(×100kN/m²)
C1	1800	900	Ⅰ	100	50	8	400	120
C2	1800	900	Ⅱ	125	50	8	400	90
C3	1900	900	Ⅰ	100	50	8	400	113
C4	1900	900	Ⅱ	125	50	8	400	85
C5	2000	900	Ⅰ	100	50	8	400	107
C6	2000	900	Ⅱ	125	50	8	400	80
C7	2150	900	Ⅰ	100	60	8	480	119
C8	2150	900	Ⅱ	125	60	8	480	89
C9	2350	900	Ⅰ	100	70	8	560	127
C10	2350	900	Ⅱ	125	70	8	560	95
C11	2550	900	Ⅰ	100	70	10	700	146
C12	2550	900	Ⅱ	125	70	10	700	109
C13	2750	900	Ⅰ	125	80	10	800	115
C14	2750	900	Ⅱs	125	80	10	800	115
C15	2750	900	Ⅱ	125	80	10	800	115
C16	2950	900	Ⅰ	125	80	12	960	128
C17	2950	900	Ⅱs	125	80	12	960	128
C18	2950	900	Ⅱ	125	80	12	960	128
C19	3150	900	Ⅰ	125	80	12	960	120
C20	3150	900	Ⅱs	125	80	12	960	120
C21	3150	900	Ⅱ	150	80	12	960	95
C22	3350	900	Ⅰs	125	100	10	1000	117
C23	3350	900	Ⅰ	150	100	10	1000	93
C24	3350	900	Ⅱs	150	100	10	1000	93
C25	3350	900	Ⅱ	150	100	10	1000	93
C26	3550	900	Ⅰs	125	100	10	1000	110
C27	3550	900	Ⅰ	150	100	10	1000	87
C28	3550	900	Ⅱs	150	100	10	1000	87
C29	3550	900	Ⅱ	150	100	10	1000	87
C30	3800	900	Ⅰs	125	100	12	1200	123
C31	3800	900	Ⅰ	150	100	12	1200	98
C32	3800	900	Ⅱs	150	100	12	1200	98
C33	3800	900	Ⅱ	150	100	12	1200	98
C34	4050	900	Ⅰs	150	100	12	1200	91
C35	4050	900	Ⅰ	175	100	12	1200	76
C36	4050	900	Ⅱs	175	100	12	1200	76
C37	4050	900	Ⅱ	175	100	12	1200	76
C38	4300	900	Ⅰs	150	100	14	1400	100
C39	4300	900	Ⅰ	175	100	14	1400	83
C40	4300	900	Ⅱs	175	100	14	1400	83
C41	4300	900	Ⅱ	200	100	14	1400	71
C42	4550	900	Ⅰs	175	120	14	1680	94
C43	4550	900	Ⅰ	200	120	14	1680	80
C44	4550	900	Ⅱs	200	120	14	1680	80
C45	4550	900	Ⅱ	200	120	14	1680	80
C46	4800	900	Ⅰs	175	120	14	1680	89
C47	4800	900	Ⅰ	200	120	14	1680	76
C48	4800	900	Ⅱs	200	120	14	1680	76
C49	4800	900	Ⅱ	200	120	14	1680	76
C50	5100	900	Ⅰs	175	120	16	1920	95
C51	5100	900	Ⅰ	200	120	16	1920	81
C52	5100	900	Ⅱs	200	120	16	1920	81
C53	5100	900	Ⅱ	225	120	16	1920	71
C54	5400	900	Ⅰs	200	120	18	2160	86
C55	5400	900	Ⅰ	225	120	18	2160	75
C56	5400	900	Ⅱs	225	120	18	2160	75
C57	5400	900	Ⅱ	250	120	18	2160	66
C58	5700	900	Ⅰs	200	120	20	2400	90
C59	5700	900	Ⅰ	225	120	20	2400	79
C60	5700	900	Ⅱs	250	120	20	2400	70
C61	5700	900	Ⅱ	275	120	20	2400	62
C62	6000	900	Ⅰs	225	120	22	2640	82
C63	6000	900	Ⅰ	250	120	22	2640	72
C64	6000	900	Ⅱs	275	120	22	2640	65
C65	6000	900	Ⅱ	300	120	22	2640	59

$$\sigma ck = (\sigma ca - 1) \times 2.8 / 1.5$$
$$= (15 - 1) \times 2.8 / 1.5$$
$$= 26.2\ N/mm^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.3)$$

3） 脱型に必要な最小設計基準強度の検討

短期間に大量のセグメントを製作することによって，型枠の損料や設備の損料を最小限に抑えている。このため，蒸気養生を前提として，所定の時間内に脱型に必要な初期強度を確保する必要がある。

これまで，脱型強度として15N/mm²が一般的に必要とされてきた。しかしながら，脱型強度はセグメントの規模によっても必要強度が変ると考えられる。そこで，標準セグメント（下水道シールド工事用セグメント）を対象として，脱型に必要な強度を設定し，最小設計基準強度を求めることとする。

セグメントを脱型する際には，一般に継手金具を利用して４点で吊上げる方法が採られる。このとき，吊上げ重量はセグメントの自重と型枠の重量が作用する。型枠の重量はセグメントの構造などによって一定ではないが，ここでは，セグメントの重量と同等と仮定する。吊手１カ所当りの吊上げ荷重は全ての吊り具が均等に作用しない場合を想定して吊手３カ所で吊上げ荷重を除したものとした。吊上げ荷重の算定結果を表-４．５に示す。

継手に作用する押し抜きせん断力は，便宜上セグメント厚さの 2/3 が有効に作用すると仮定し，押し抜きせん断を受ける周長は 45cm とした。

試算の結果，発生する押し抜きせん断応力度は最大で 0.21N/mm²程度であり，許容押し抜きせん断応力度は 0.22N/mm² となる。コンクリート標準示方書によれば，押し抜きせん断強度は次式によって求められる。

$$f_{pcd} = 0.2 (f'_{cd})^{1/2} \quad (N/mm^2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.4)$$

そこで，脱型強度に対する安全率を一時的な荷重であることを考慮して 2.0 とし，最小脱型強度を次式によって求める。

$$\text{脱型強度} = (f_{pcd}^2 / 0.2^2) \times 2.0$$
$$= (0.22^2 / 0.2^2) \times 2.0$$
$$= 2.43\ N/mm^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.5)$$

また，脱型強度は脱型時にセグメントに有害なひび割れや損傷を生じさせないことを前提として経験的に定められている部分があるため，鉄道複線トンネル用のセグメントで用いられている脱型強度（１５N/mm²）とセグメント自重（約 50kN）との比を参考に推定すると、Ｃ１６２（セグメント重量約 22kN）の標準セグメントの必要脱型強度は約 6.5N/mm² となる。

ただし，脱型時に隅角部に生じる損傷を防止するためには，13～15N/mm² の脱型強度が必要とされており，この脱型強度を低下させた場合には不良品の発生が増加することが懸念される。

表-4.5　脱型時に想定される吊上げ荷重の算定結果

標準番号	外径	幅	種別	厚さ	分割数	セグメント重量	吊上げ重量	吊手一力所当り重量	押し抜きせん断応力
	(mm)	(mm)		(mm)		(×10kN)	(×10kN)	(×10kN)	(×100kN/㎡)
C101	1800	1000	Ⅰ	100	5	0.354	0.708	0.236	0.8
C102	1800	1000	Ⅱ	125	5	0.436	0.872	0.291	0.8
C103	1900	1000	Ⅰ	100	5	0.375	0.749	0.250	0.8
C104	1900	1000	Ⅱ	125	5	0.462	0.924	0.308	0.8
C105	2000	1000	Ⅰ	100	5	0.395	0.791	0.264	0.9
C106	2000	1000	Ⅱ	125	5	0.488	0.976	0.325	0.9
C107	2150	1000	Ⅰ	100	5	0.427	0.853	0.284	0.9
C108	2150	1000	Ⅱ	125	5	0.527	1.054	0.351	0.9
C109	2350	1000	Ⅰ	100	5	0.468	0.937	0.312	1.0
C110	2350	1000	Ⅱ	125	5	0.579	1.158	0.386	1.0
C111	2550	1000	Ⅰ	100	5	0.510	1.020	0.340	1.1
C112	2550	1000	Ⅱ	125	5	0.631	1.262	0.421	1.1
C113	2750	1000	Ⅰ	125	5	0.683	1.366	0.455	1.2
C114	2750	1000	Ⅱs	125	5	0.683	1.366	0.455	1.2
C115	2750	1000	Ⅱ	125	5	0.683	1.366	0.455	1.2
C116	2950	1000	Ⅰ	125	5	0.735	1.470	0.490	1.3
C117	2950	1000	Ⅱs	125	5	0.735	1.470	0.490	1.3
C118	2950	1000	Ⅱ	125	5	0.735	1.470	0.490	1.3
C119	3150	1000	Ⅰ	125	5	0.787	1.574	0.525	1.4
C120	3150	1000	Ⅱs	125	5	0.787	1.574	0.525	1.4
C121	3150	1000	Ⅱ	150	5	0.937	1.873	0.624	1.4
C122	3350	1000	Ⅰs	125	5	0.839	1.678	0.559	1.5
C123	3350	1000	Ⅰ	150	5	0.999	1.998	0.666	1.5
C124	3350	1000	Ⅱs	150	5	0.999	1.998	0.666	1.5
C125	3350	1000	Ⅱ	150	5	0.999	1.998	0.666	1.5
C126	3550	1000	Ⅰs	125	6	0.713	1.426	0.475	1.3
C127	3550	1000	Ⅰ	150	6	0.849	1.698	0.566	1.3
C128	3550	1000	Ⅱs	150	6	0.849	1.698	0.566	1.3
C129	3550	1000	Ⅱ	150	6	0.849	1.698	0.566	1.3
C130	3800	1000	Ⅰs	125	6	0.765	1.530	0.510	1.4
C131	3800	1000	Ⅰ	150	6	0.912	1.823	0.608	1.4
C132	3800	1000	Ⅱs	150	6	0.912	1.823	0.608	1.4
C133	3800	1000	Ⅱ	150	6	0.912	1.823	0.608	1.4
C134	4050	1000	Ⅰs	150	6	0.974	1.948	0.649	1.4
C135	4050	1000	Ⅰ	175	6	1.129	2.258	0.753	1.4
C136	4050	1000	Ⅱs	175	6	1.129	2.258	0.753	1.4
C137	4050	1000	Ⅱ	175	6	1.129	2.258	0.753	1.4
C138	4300	1000	Ⅰs	150	6	1.036	2.073	0.691	1.5
C139	4300	1000	Ⅰ	175	6	1.202	2.404	0.801	1.5
C140	4300	1000	Ⅱs	175	6	1.202	2.404	0.801	1.5
C141	4300	1000	Ⅱ	200	6	1.365	2.731	0.910	1.5
C142	4550	1000	Ⅰs	175	6	1.275	2.550	0.850	1.6
C143	4550	1000	Ⅰ	200	6	1.449	2.897	0.966	1.6
C144	4550	1000	Ⅱs	200	6	1.449	2.897	0.966	1.6
C145	4550	1000	Ⅱ	200	6	1.449	2.897	0.966	1.6
C146	4800	1000	Ⅰs	175	6	1.348	2.695	0.898	1.7
C147	4800	1000	Ⅰ	200	6	1.532	3.064	1.021	1.7
C148	4800	1000	Ⅱs	200	6	1.532	3.064	1.021	1.7
C149	4800	1000	Ⅱ	200	6	1.532	3.064	1.021	1.7
C150	5100	1000	Ⅰs	175	6	1.435	2.870	0.957	1.8
C151	5100	1000	Ⅰ	200	6	1.632	3.263	1.088	1.8
C152	5100	1000	Ⅱs	200	6	1.632	3.263	1.088	1.8
C153	5100	1000	Ⅱ	225	6	1.826	3.653	1.218	1.8
C154	5400	1000	Ⅰs	200	6	1.732	3.463	1.154	1.9
C155	5400	1000	Ⅰ	225	6	1.939	3.877	1.292	1.9
C156	5400	1000	Ⅱs	225	6	1.939	3.877	1.292	1.9
C157	5400	1000	Ⅱ	250	6	2.144	4.287	1.429	1.9
C158	5700	1000	Ⅰs	200	6	1.832	3.663	1.221	2.0
C159	5700	1000	Ⅰ	225	6	2.051	4.102	1.367	2.0
C160	5700	1000	Ⅱs	250	6	2.269	4.537	1.512	2.0
C161	5700	1000	Ⅱ	275	6	2.484	4.968	1.656	2.0
C162	6000	1000	Ⅰs	225	6	2.164	4.327	1.442	2.1
C163	6000	1000	Ⅰ	250	6	2.394	4.787	1.596	2.1
C164	6000	1000	Ⅱs	275	6	2.621	5.243	1.748	2.1
C165	6000	1000	Ⅱ	300	6	2.847	5.694	1.898	2.1

4） 最小設計基準強度の検討

以上の検討結果から，セグメントに用いるコンクリートの最小設計基準強度は 30N/㎟程度で設計，製作，施工できる可能性があると考えられる。

表－4．3の検討結果から，設計基準強度を 30N/㎟に低減することによって材料費が 1,000 円／㎥程度低減できる可能性が示されている。ただし，コンクリートの設計基準強度を低減することによって生じる仕上げ性の低下や脱型時の損傷などについては，試作等を含めて今後検討する必要がある。

4．3 高流動コンクリートの適用性の検討

（1）高流動コンクリートの採用によって期待される効果

高流動コンクリートをセグメントに適用することによって，セグメント製造方法の合理化をはかり，セグメント製造コストの縮減を進めることを目的として検討を行った。高流動コンクリートをセグメントに適用した場合に得られる経済効果として，以下の項目が挙げられる。

① 作業時間の短縮による労務費の低減

・型枠の移動が不要となるため，１リング当りの製作時間を短縮できる可能性があり，製作労務費の縮減が期待できる。

・蓋型枠を有効に利用することによって表面仕上げが省略できる。

② テーブルバイブレータの不使用および型枠移動が不要になることによる型枠の軽量化

・テーブルバイブレータによる振動を与えないこと，型枠の移動が不要なことから，型枠の強度を低減できる可能性があり，型枠費の縮減が期待できる。（図－４．１参照）

③ テーブルバイブレータ等の設備が不要

・テーブルバイブレータなどの設備が不要となり，工場間接費の縮減が期待できる。

・テーブルバイブレータを使用しないため防音設備が不要となり，工場間接費の縮減が期待できる。

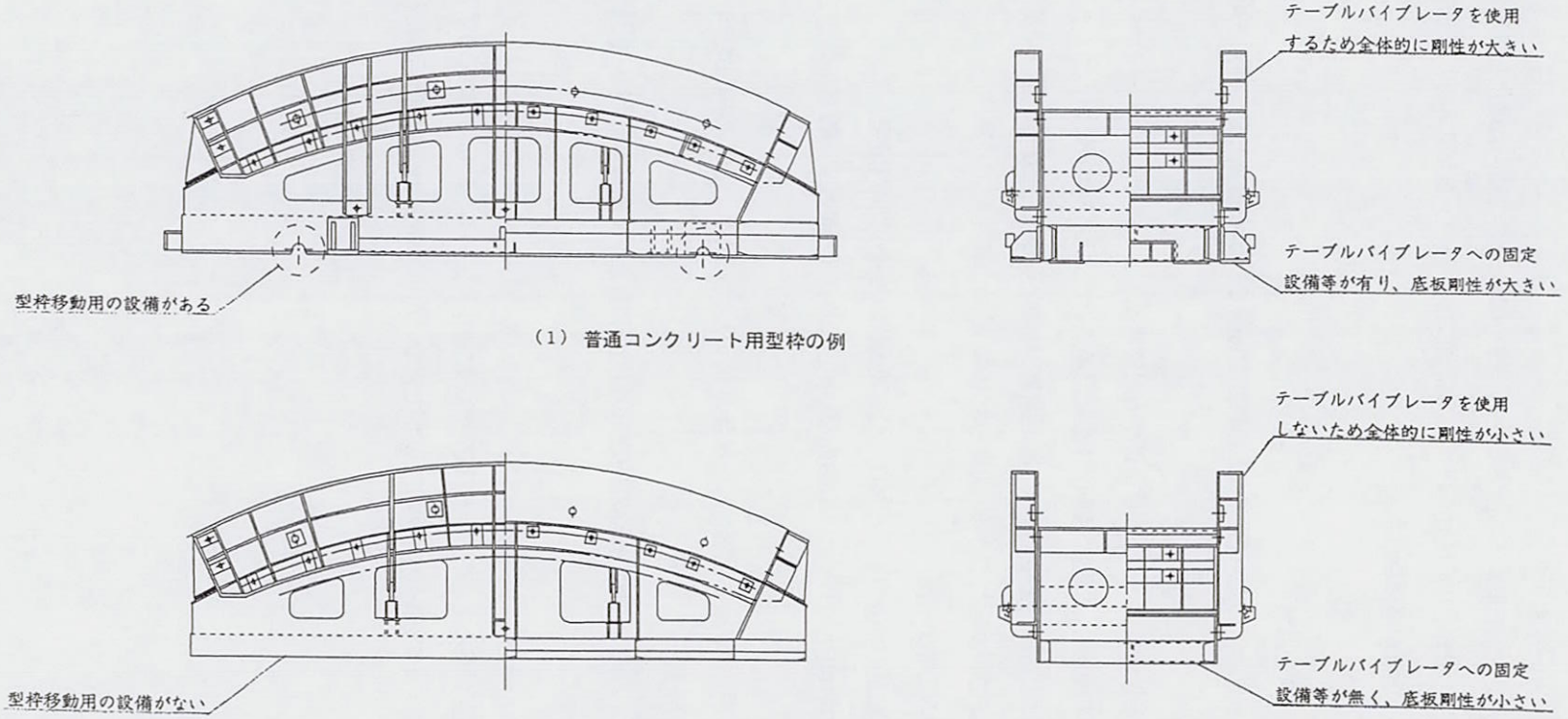
また，高流動コンクリートをセグメントに適用した場合のデメリットとして，以下の項目が挙げられる。

① 脱型強度の確保に時間がかかる

・所定の脱型強度が発現するまでに要する時間が従来の製造方法に比べて長くなるため，製造サイクルが低下し，型枠の回転数が少なくなる。

② 蓋型枠が必要となる

・現状の製造方法では，蓋型枠をコンクリート打設時のみに使用しているため転用できるが，高流動コンクリートの場合には，脱型直前まで蓋型枠を外すことができないため型枠数分の蓋型枠が必要となる。



図－4．1　セグメント用型枠の比較

（2）高流動コンクリートの調査・分析

1）高流動コンクリートの分類と特徴

高流動コンクリートは，①増粘剤系，②粉体系，③併用系に分類できる。

それぞれのコンクリートに関する一般的な特徴は，以下のようにまとめられる。

a）増粘剤系高流動コンクリートは，高性能 AE 減水剤の添加量や表面水率，細骨材粒度の変動によるスランプフローへの影響が比較的少なく，他の２系統の高流動コンクリートに比べて品質管理が容易である。

b）これに対して粉体系高流動コンクリートは，高性能 AE 減水剤の添加量や表面水率，細骨材粒度の変動によるスランプフローへの影響が顕著であり，使用材料や計量，混練りにおける品質管理が重要となる。

c）併用系高流動コンクリートは，増粘剤系と粉体系の中間的な性状を示し，品質管理面からも粉体系よりは容易で，増粘剤系より難しいと言える。

また，高流動コンクリートに用いる混和材（フライアッシュ，石灰石微粉末，高炉スラグ微粉末）や混和剤（高性能 AE 減水剤，増粘剤，分離抵抗剤等）によって，流動性，強度，価格等が変わってくる。

このため，基本配合によってコンクリートの価格および製作性に差が生じることが予想されるが、セグメントは一般的に工場で製作される二次製品であることからコンクリートの品質管理は現場で打設されるコンクリートに比べて容易であると考えられる。

2）高流動コンクリートの採用実績

高流動コンクリートの採用実績の例を表－４．６に示す。

表－４．６　高流動コンクリートの採用実績の例

No.	工事件名	対象構造物	種類	備考
1	神戸港港島トンネル	沈埋トンネル	粉体系	製造開始から打設終了まで 60 分で管理 重点的に細骨材粒度および表面水管理を実施
2	柴山港防波堤	ケーソン	増粘剤系	スランプフロー値とＶロート値で管理
3	お茶の水分水路 シールドトンネル	二次覆工	増粘剤系	
4	川崎航路沈埋トンネル	最終継手部	増粘剤系	
5	京王渋谷駅改良工事	軌道スラブ	増粘剤系	
6	大淀川第一発電所改造工事	放水路スラブ	粉体系	
7	明石海峡大橋 1A アンカレイジ	アンカレイジ躯体	粉体系	練混ぜ時のミキサ油圧負荷値および 0 ロート試験によって分離抵抗性の管理
8	第二阪奈有料道路建設工事	URT 鋼製桁充填	併用系	
9	片福連絡線竹島工区	パイプルーフ充填	併用系	
10	東京電力技術開発センター建物会議棟新設工事	地下１階躯体	増粘剤系	
11	下水道シールドトンネル	二次覆工	粉体系	メッシュ通過試験による充填性の管理
12	飛鳥山トンネル	トンネル頂版部	粉体系	センサーによる充填性の確認
13	茶間川アーチ橋	アーチリブ	粉体系	透水型枠の採用

（3）高流動コンクリートセグメントに関するヒアリング結果

高流動コンクリートをセグメントに使用した事業者へのヒアリング結果等を以下に示す。

1）高流動コンクリートセグメントの導入目的

高流動コンクリートをセグメントに使用した事業者では，高流動コンクリートセグメントの採用によってシールド工事（セグメント）のコストダウンをはかることを目的として開発を進めた。現時点では日本国内で最も安価なセグメントであると考えている。

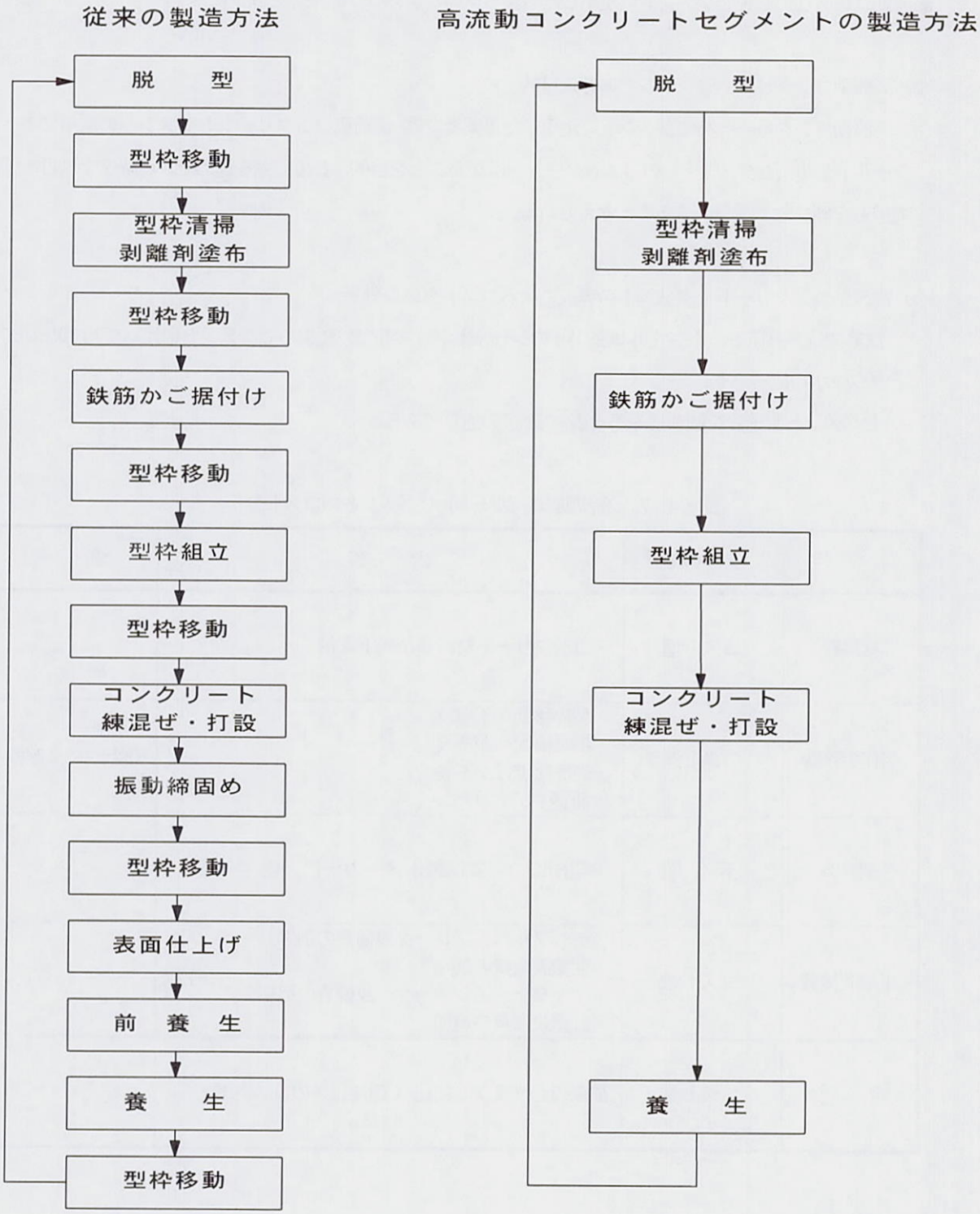
2）高流動コンクリートセグメントの導入によるコストダウン効果

試算では，直径4m，トンネル延長1kmのシールドトンネルで，従来のセグメントに比べて約10%のコストダウンが可能である。

セグメント製造費を個別にみると表－4．7の通りである。

表－4．7　高流動コンクリートセグメントのコスト分析

項　　目	コストの増減	内　　容	備　　考
材料費	コスト増	・コンクリート材料費が約1.3倍	
製作労務費	コスト減	・型枠移動が不要 ・振動締固めが不要 ・表面仕上げが不要 ・前養生が不要	図－4．2参照
型枠費	不　　明	・型枠については製作メーカーに一任	
工場間接費	コスト減	・テーブルバイブレータ設備費の削除 ・運搬設備費の削除 ・ホッパー，アジテーター設備費の追加 ・計量設備費の追加	
合　　計	コスト減	従来のセグメントに比べて約10%のコスト減	



図－4．2　セグメント製造工程の比較

3）粉体系高流動コンクリートの採用理由

高流動コンクリートセグメントの開発に着手した時点で増粘剤系高流動コンクリートと比較して以下の点で優位性が認められたためである。

① 早期強度が得られやすい

② 乾燥収縮が少ない

③ 材料コストが安い

現時点では，高性能で安価な増粘剤が開発されているので再検討の必要は有ると考えられる。

また，現在使用している粉体系高流動コンクリートの圧縮強度は非常に高くなっていることから，設計基準強度に対する管理は行っていない。圧縮強度の変動に関する調査結果では変動率が約9％という結果が得られている。

4）その他

高流動コンクリートセグメントは蓋付きの型枠にコンクリートを流し込んで製造するが，蓋付型枠では打設したコンクリート表面に気泡によるあばたが生じるため，対策として有孔鋼板を蓋に用い，孔の目詰り防止に織布を入れるなどの工夫をしている。

製造工場では振動締め固めの省略によって騒音や振動が発生しないなどの付帯効果も生れている。

高流動コンクリートセグメントの製造に当ってのトラブルはいくつか有るが，現時点までに高流動コンクリートを採用したことによる特有のトラブルと確定されていない。

大口径セグメントに採用する場合には水和熱の上昇と細骨材表面水の管理が重要になると考えられる。

（4）高流動コンクリートセグメントの製造コスト試算

今回のヒアリング結果から，高流動コンクリートをセグメント製造に適用した場合のコストダウン効果が確認された。そこで，ここではモデルとするセグメントを定め，高流動コンクリートセグメントのコスト試算を行った。その結果を以下に示す。

1）コスト試算の対象とするセグメント

高流動コンクリートセグメントの製造コスト試算を行うためのセグメントは，下水道用標準セグメント（Ｃ１３９）とする。このセグメントを選定した理由は，既に従来製造方法によるコスト試算結果がでていることから，高流動コンクリートセグメントを採用した場合のコスト試算が比較的短期間で可能であると考えられること。ならびに，コスト試算を依頼するメーカーの負担を軽減するために従来製造方法のコスト試算を省略できることである。

2）コスト試算条件

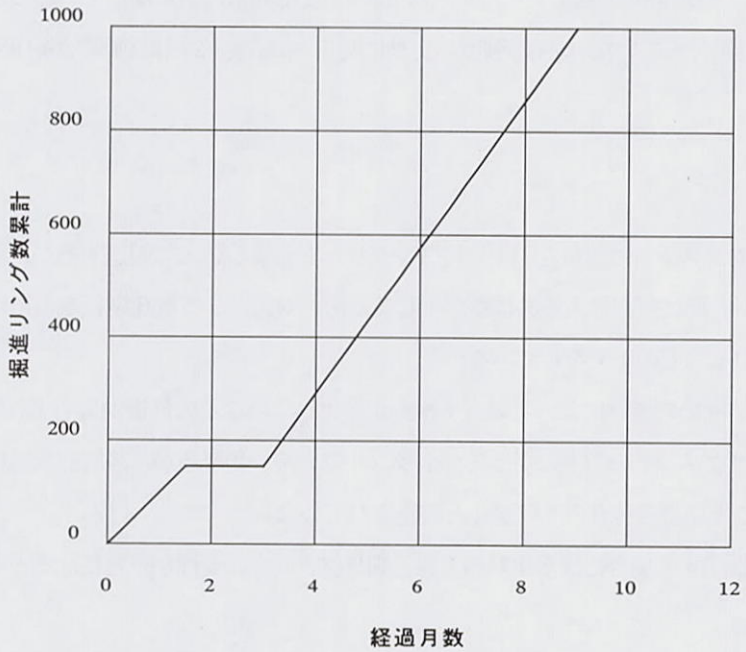
高流動コンクリートセグメントのコスト試算における見積条件は以下の通りとした。

① 製作リング数

スタンダードセグメント	900 リング
テーパーセグメント（両テーパー：Δ=50mm）	50 リング
テーパーセグメント（片テーパー：Δ=25mm）	50 リング
合　　計	1,000 リング

② 製作工程

セグメントは現場の掘進工程（図－４．３）に合わせて製作するものとした。



図－４．３　現場掘進予定

③ 製造設備および管理

日本下水道協会の定める管理基準を満足すること。ただし，工場設備についてはその限りではない。

④ 保管ならびに納品

セグメントの保管ならびに出荷に関しては製作順を原則とし現場の指示による納入を行うものとする。納入は東京２３区内に想定する現場における車上渡しとした。

⑤ 検査

品質管理，試験，検査は（社）土木学会・(社)日本下水道協会：「シールド工事用標準セグメント」、（平成２年）に準じて行うものとした。

⑥ 検収

検収は現場納入後とした。

⑦ 承認図書

セグメントの製作に当って承認図書（設計計算書，製作図，製作計画書，試験検査計画書）を製作することとした。

⑧ 工場間接費の取扱い

高流動コンクリートをセグメントに適用した場合，テーブルバイブレータをはじめとする既存の設備を使用する必要が無くなる可能性があるため，以下の項目を考慮して工場間接費が低減できる。

(a) テーブルバイブレータ，型枠移動設備（養生方法によっては蒸気養生設備）を工場間接費から除く。

(b) ホッパー，アジテーター，計量設備を工場間接費に追加する。

この考えで工場間接費を算定することが望ましいが，現状の工場について評価を行う場合，工場毎に間接費が異なるため，一律で評価することが難しい。

そこで，セグメントを製作するメーカーに対して工場間接費に関するヒアリングを実施したところ，工場間接費の内，設備の減価償却費が占める割合は約５％程度であるとの回答が得られた。

その結果，設備の低減による工場間接費の算出の精度を確保することが難しいと判断し，本検討では工場間接費率を現在各工場で採用している値をそのまま使用することとした。

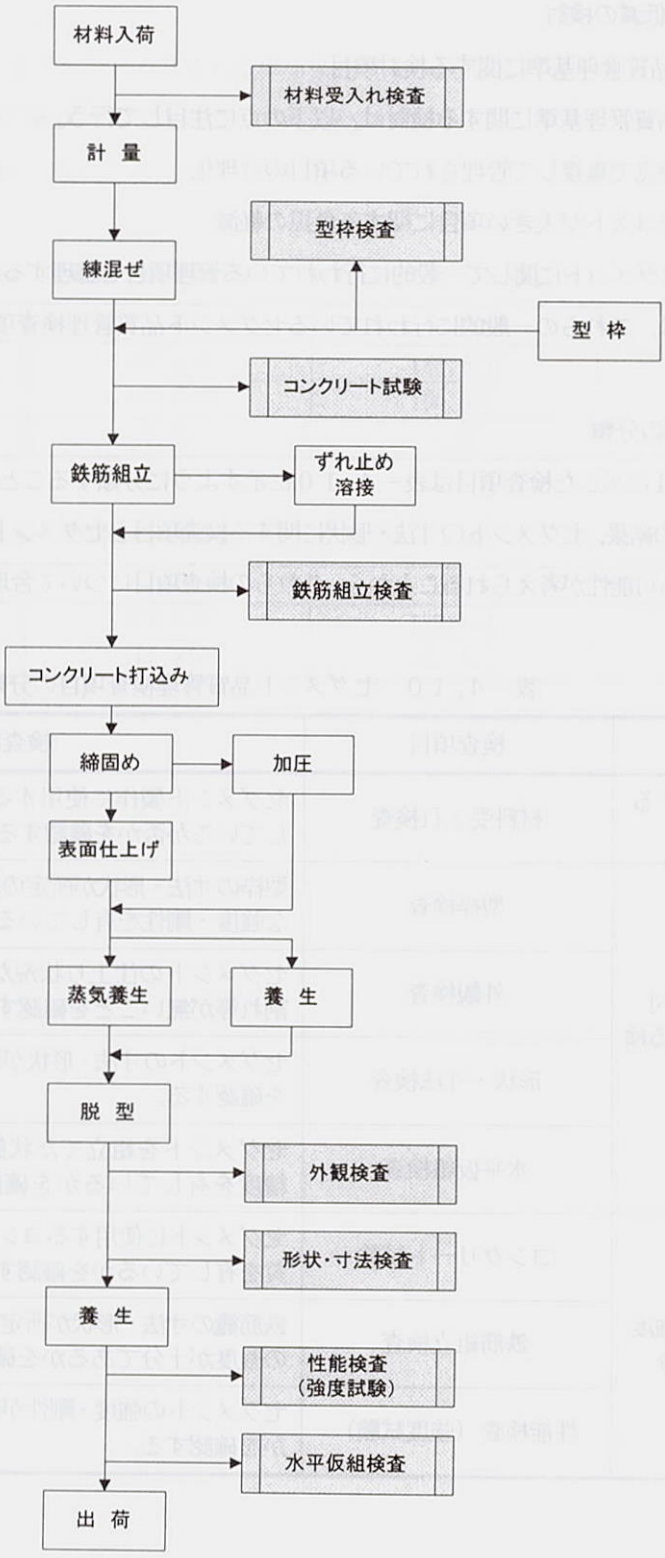
⑨ 製作型枠数

製作型枠数は、便宜上従来製法の 1.5 倍と仮定し、型枠回転数を１回転／日とした。ただし，製作工期を十分に確保できる場合を想定して，現状と同様の型枠数で製作した場合も合わせて試算した。

⑩ その他

高流動コンクリートセグメントに関するヒアリング結果を考慮し，メーカーの判断によって適切な見積りをお願いした。

注）本コスト試算は、上記の条件および仮定の基に行ったものであり、条件等が異なれば、結果も変わる可能性がある。



図－4．4 ＲＣセグメントの製作工程と検査の関係

（3）セグメント検査項目の合理化

1） セグメントの寸法・形状に関する検査項目の合理化

セグメントの寸法・形状に関する検査項目は以下のように合理化することが可能と考えられる。

① 型枠検査は最終的なセグメントの仕上り寸法および外観検査によって代替することが可能と考えられる。コンクリート二次製品の場合，型枠の精度が不十分で有ればその型枠を用いて製作した製品の寸法が所定の精度を確保できることは考えられない。また，型枠の精度が十分であった場合でも，型枠の強度・剛性が不十分で有れば転用を繰返す内にセグメントの寸法精度を確保することはできなくなる。現状の型枠検査は，このようにセグメントの精度が低下することを事前に管理することを目的としていると考えられるが，発注者としては購入するセグメントそのものの製品精度を確認することによって，この検査を省略することが可能と考えられる。ただし，型枠検査そのものは，メーカーの自主検査として実施する必要があるため，製作コストの低減には直接結びつかない。また，型枠の製作完了を検査によって確認した時点で，出来高払を行っている場合には，これに代る出来高確認方法を検討する必要がある。

② 水平仮組検査はセグメント単体が所定の寸法精度を満足していても，その組合わせによってはリングとして十分な精度を確保できないことがあるため，これを実際に組立てることによって確認するものである。セグメントは基本的に同一の型枠を転用して製作するため，セグメント単体の寸法精度が製作期間内でその傾向を大きく替えることは考えにくい。そこで，試作段階で水平仮組試験を実施し，型枠が持つ寸法誤差の傾向がリングを組立てる際に支障がないことを確認することでこの検査を終了とし，数百リングに１回の頻度で実施している検査回数を低減する方法が考えられる。ただし，製作期間内で型枠を新規に追加または交換する場合には，必要に応じて水平仮組検査を実施することが望ましい。

③ セグメントの外観検査，単体の寸法・形状検査は，セグメントの品質を管理するための最低限の項目と考えられることから省略することはできないと判断される。

2） セグメントの強度に関する検査項目の合理化

セグメントの強度に関する検査項目は以下のように合理化することが可能と考えられる。

① 性能検査（セグメントの強度検査）は，現状の製作技術からセグメントの強度が所定の材料を所定の位置で用いることによって十分に確保できると判断できることから，材料検査，鉄筋組立検査，セグメント寸法・形状検査によって代替可能と考えられる。ただし，設計において想定した強度・剛性が確保されているか否かを確認する必要があるため，セグメントの試作または初期製作段階で強度試験を実施し，設計結果を検証することとする。

② コンクリート試験，鉄筋組立検査に関しては，セグメントの強度を確認するための最低限の項目と考えられることから省略することはできないと判断される。

（4） セグメント検査項目の合理化によるコスト縮減効果

セグメント検査項目の合理化に関する検討結果を表－４．１１に示す。

コスト縮減効果は主にメーカーの製作コストの縮減に効果が期待できるものと，発注者側の管理コスト低減に効果が期待できるのものに分けることができる。それぞれの，具体的なコスト縮減効果はセグメントの規模や現状の試験回数によって異なることから，一般的な数値として求めることはできない。

ここでは，トンネル外径 5m クラスのシールドトンネルに用いるセグメントを例にとってコスト縮減効果の評価を行うこととする。セグメント検査項目の合理化によるコスト縮減効果の一例を表－４．１２に示す。

表－４．１１　セグメント検査項目の合理化とコスト縮減効果

検査項目	現状の検査頻度	合理化後の検査頻度	製造費のコスト縮減効果	管理費のコスト縮減効果
材料受入れ検査	適宜	現状通り	－	－
型枠検査	１回	省略	－	○
外観検査	全数	現状通り	－	－
形状・寸法検査	全数	現状通り	－	－
水平仮組検査	１回／500 リング程度	試作または初期製作段階１回のみ	△	○
コンクリート試験	１回／日	現状通り	－	－
鉄筋組立検査	全数	現状通り	－	－
性能検査（強度試験）	１回／250 リング程度	試作または初期製作段階１回のみ	○	○

表－４．１２　セグメント検査項目の合理化によるコスト縮減効果の一例（単位：円/リング）

項　　目	現状	合理化案	コスト縮減効果
セグメント製作費	540,000	540,000	－
水平仮組試験費	750	150	－600
性能試験費	3,000	600	－2,400
合　　計	543,750	540,750	－3,000(0.55%)

※：製造リング数 1,000 リング，水平仮組試験 1/200 リング，性能試験 1/200 リングとして試算

（5）セグメント強度試験回数の低減

１）セグメント強度試験結果の調査結果

強度試験に代ってトンネル覆工体であるセグメントの安全性を材料検査と寸法検査で確認することが可能であるか否かを判断する材料が無いことから，ここでは，過去５年間の標準セグメントを対象とした強度試験結果を調査し，その結果に基づいて，強度試験の回数低減の可能性を検討した。

図－４．５～図－４．６に過去５年間に実施されたセグメント外径が 2550～6000㎜ の標準セグメントの強度試験結果を示す。この結果から明らかなように，セグメントの単体曲げ試験ならびに継手曲げ試験は全て所定の安全率を確保していることが判る。このことから，現状行われている材料検査および寸法検査によってセグメントに要求される性能は確保されているものと判断でき，強度試験を低減または省略することは可能と考えられる。

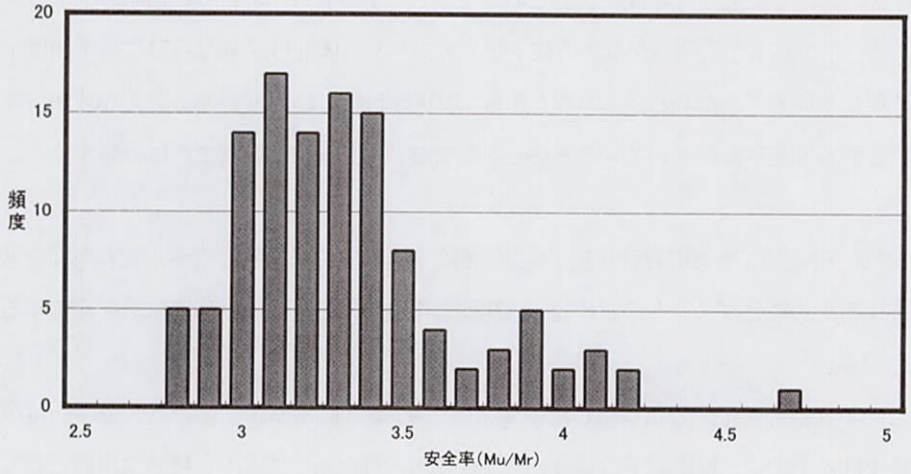
ただし，セグメントは，工事毎に設計し施工承認を得て製作することが多いため，設計内容を事前に確認し，安全性を保証するためにセグメントの試作段階（初期製作段階）に１回のみ強度試験を実施することが妥当であると考えられる。

さらに，この調査結果を正規分布解析した結果を表－４．１３に示す。このとき，継手曲げ試験において安全率が5.0を上回るものは，特に継手の強度・剛性を要求されたものであり，特殊な事例としてデータから除外するのが妥当であると考えられる。

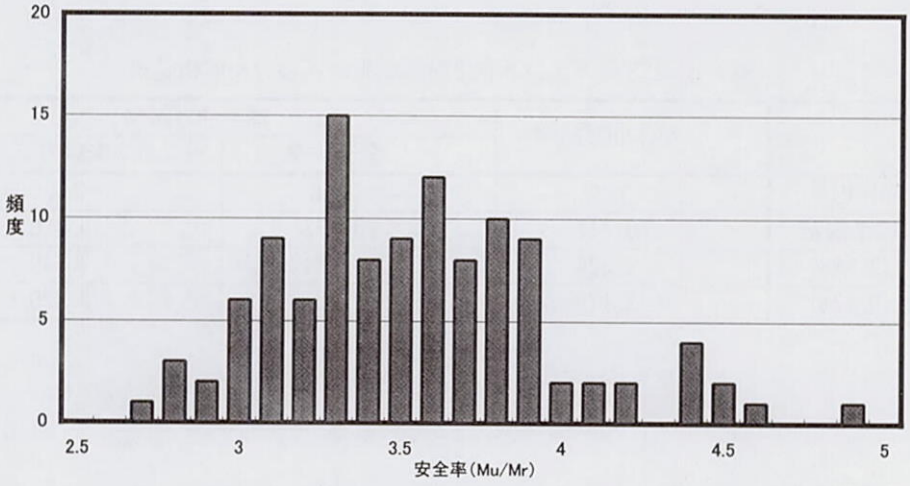
この結果から，発生確率 2.28％では安全率 2.5 を超えているが，発生確率 0.13％では安全率 2.1～2.2 程度となっている。

表―４．１３セグメント強度試験結果の正規分布解析結果

	単体曲げ試験	継手曲げ試験	
		全データ	5.0 未満のデータ
安全率の中央値	3.22	3.50	3.48
安全率の標準偏差	0.347	0.793	0.420
$\mu-2\sigma$ (2.28%)	2.526	1.914	2.640
$\mu-3\sigma$ (0.13%)	2.179	1.121	2.220



図－４．５　単体曲げ試験安全率頻度分布



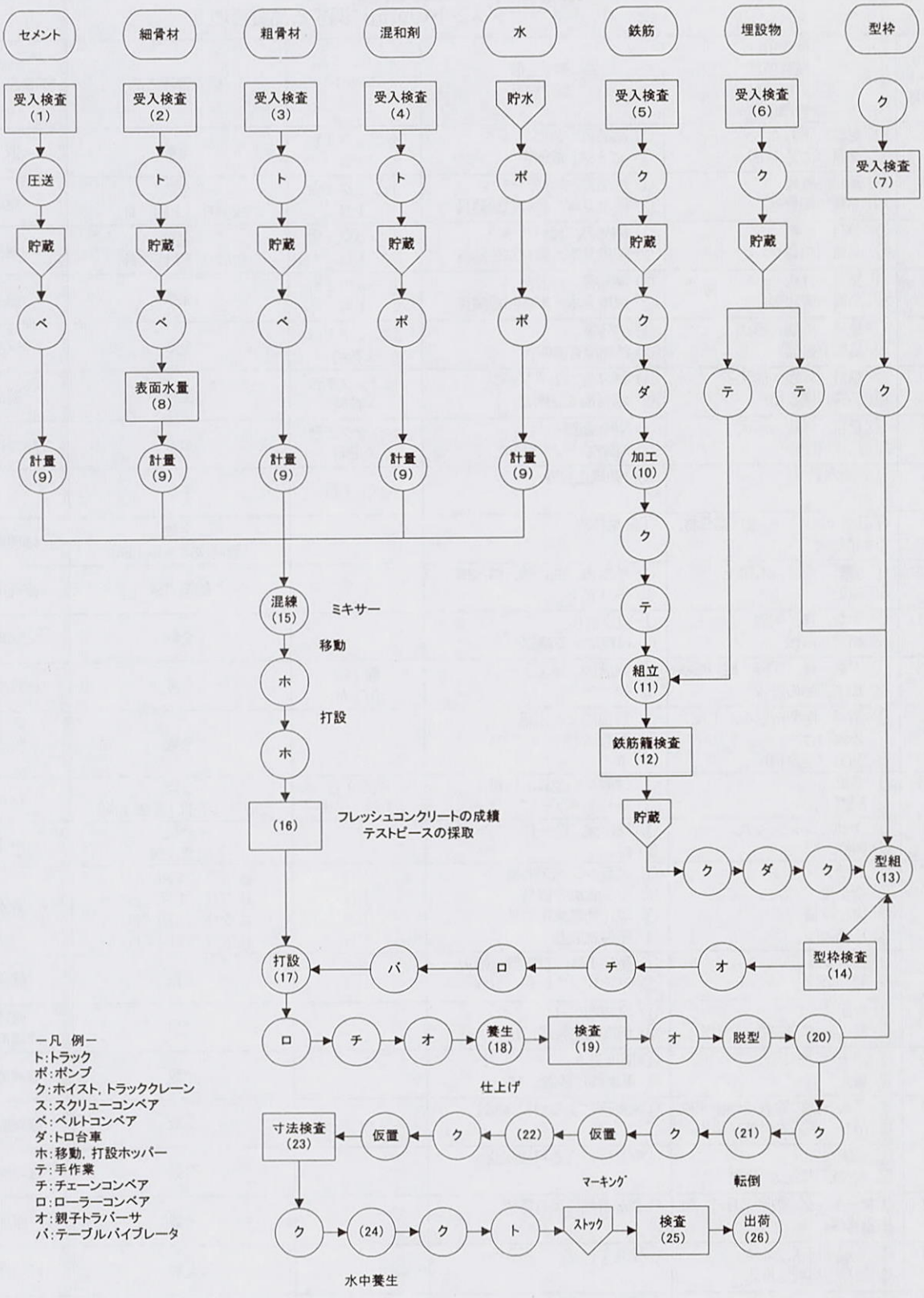
図－４．６　継手曲げ試験安全率頻度分布

2）セグメント製作における品質管理内容

セグメントの製作を行う際に実施されている品質管理内容を図－４．７および表－４．１４に示す。

現在のセグメント製作における品質管理は，材料検査と寸法検査に加えて完成品の強度検査，寸法検査が行われている。完成品の寸法検査は，型枠の製作精度が確保されていても，その組立における誤差や，温度変化による誤差などが製品単体の寸法精度に影響を与えるため，現場での組立性や止水性を確保する上で必要な検査項目と考えられる。しかしながら，完成品の強度検査は，材料の品質，強度，加工などが一定の水準を満足していれば，設計上のミスがない限り所定の性能を満足するものと考えられる。

強度試験の実績調査結果においても，要求品質を下回る事例がないことから，現状の品質管理において完成品の強度試験を低減または省略することは可能であると判断される。



図－4．7 セグメント製作フローの一例

表－４．１４　セグメントの製造に関する品質管理

フロー図	検査項目 試験項目 点検項目 管理項目	測定装置 測定器具	ロット	検査管理方法	不良品の処置
1	① 量目，新鮮度 ② 品質（セメント）	① 納品書，ﾄﾗｯｸｽｹｰﾙ ② セメント成績表	トラック１台 １月	全数	返品
2	① 量目，外観 ② 品質（細骨材）	① 納品書，ﾄﾗｯｸｽｹｰﾙ ② 限度見本，骨材試験器具	トラック１台 １月	全数 抜取り（１回／月）	返品
3	① 量目，外観 ② 品質（粗骨材）	① 納品書，ﾄﾗｯｸｽｹｰﾙ ② 限度見本，骨材試験器具	トラック１台 １月	全数 抜取り（１回／月）	返品
4	① 量目，外観 ② 品質（混和剤）	① 納品書，ﾄﾗｯｸｽｹｰﾙ ② 限度見本，混和材成績表	トラック１台 １月	全数	返品
5	① 量目，外観，形状 ② 品質（鉄筋）	① 納品書 ② 鉄筋検査証明書	トラック１台 入荷時	全数	返品
6	① 量目，外観，形状 ② 品質（埋設物）	① 納品書，限界ゲージ ② 鋼材検査証明書	トラック１台 入荷時	全数	返品
7	① 量目，外観，形状 ② 品質（型枠）	① 型枠構造図 ② 型枠ゲージ，ﾏｲｸﾛｹﾞｰｼﾞ	トラック１台 入荷時	全数	修理返品
8	①表面水量	①自動補正装置	バッチ毎	全数	
9	①計量（セメント，細・粗骨材，混和剤，水）	①計量装置		全数 計量器検定（年１回）	修理廃棄
10	① 切断，曲げ，溶接 ② 加工	① 切断機，曲げ機，溶接機 ② 原寸見本		始業点検	修理廃棄
11	① 本数，径，間隔 ② 結束，溶接	① 組立治具 ② 目視による確認		全数	修理
12	① 本数，径，間隔，籠の形状 ② 加工部品の形状	① 設計図，検査ゲージ ② 原寸ゲージ	籠１個 加工毎	全数	修理廃棄
13	① 清掃，離型剤散布，ボルトの締付け ② 品質（埋設物）	① 目視による確認 ② 配置図照合		全数	修理
14	① 型組 ② 配置	① 位置決め金具，目視 ② 被り限界ゲージ，ｽｹｰﾙ	型枠１台 午前，午後	全数 抜取り（午前，午後１回）	修理
15	① 作動，コンシステンシー ② 時間	① 操作盤，ｱﾝﾒｰﾀｰ ② ﾀｲﾏｰ		全数 始業点検	廃棄
16	① スランプ ② 空気量 ③ 塩化物量 ④ 圧縮強度	① スランプ測定器具 ② 空気量測定器具 ③ 塩化物量測定器具 ④ 圧縮試験器	１日 １日 １週 １日	抜取り（１回／日） 抜取り（１回／日） 抜取り（１回／日） 抜取り（１回／日）	廃棄
17	① 投入量 ② 締固め	① 型枠上縁，打設盤，幅止 ② ﾃｰﾌﾞﾙﾊﾞｲﾌﾞﾚｰﾀｰ，ﾀｲﾏｰ		全数	修理
18	① 表面仕上げ ② 養生温度，時間	① 全幅均しゴテ ② 温度測定装置，ﾀｲﾏｰ		全数	修理 修理廃棄
19	① 仕上げ，形状 ② 養生	① 限度見本 ② 温度測定装置，ﾀｲﾏｰ		全数	修理廃棄
20	① ボルト類の除去，側枠開放 ② 吊り上下，先付部品除去	①配筋図による目視確認		全数	修理廃棄
21	① 転倒 ② 先付部品除去，移動	①配筋図による目視確認		全数	修理廃棄
22	①マーキング（製造年月日，製造番号等）	①製品台帳により確認		全数	修理
23	① 外観，形状，寸法 ② 製品合格判定打印	①検査ゲージ，ノギス		全数	修理廃棄
24	①水中養生	①巡視		全数	修理
25	① 外観，形状，マーキング ② 数量，荷姿	①目視		全数	修理廃棄

4．5 セグメント補修基準の検討

（1）セグメント補修基準（案）の検討

セグメントの製作精度を緩和することによって，製作コストの低減をはかることを目的として検討を行った。その結果，以下の理由から製作精度の緩和によるコスト低減は難しいとの結論に達した。

① セグメントの製作精度は，（社）土木学会：「トンネル標準示方書（シールド工法編）・同解説」、（平成 8 年度）ならびに（社）土木学会・（社）日本下水道協会：「シールド工事用標準セグメント」、（平成２年）等に規定されており，これを独自に変更することは難しい。

② セグメントの製作精度を緩和しても，型枠構造が簡素化できることに直接結びつかないことから，型枠費の低減が難しい。

③ 製作上の精度確保は，型枠の清掃，メンテナンス等にかかっており，精度を緩和したとしてもこれらの労務費を低減することには結びつきにくい。

そこで，セグメントの製作精度を緩和するのではなく，セグメントの製作において，これまで製作仕様書に「監督員の指示による」，「有害な」等，定性的な表現になっていたために，監督員の主観がその判断基準となっていた補修に対して，定量的な判断基準を示すことによって，その判断を一定のものとし，これに関わる労務費の低減を検討した。

検討の結果，添付資料－２に示すセグメント補修基準（案）によって，補修に関する手間は低減できる可能性が確認された。補修基準（案）には，具体的な管理基準値を示すことによって，検査に関わる労務の増加が懸念されたことから，明確な基準による定量的な検査を容易に行える検査方法も示した。その効果は，具体的な実施例に対してこの基準（案）の評価を行うと共に，適宜見直しを行うことによって，より合理的な管理方法を確立する必要があると考えられる。

また，これらの管理基準は，単に製作メーカーの実行によってその効果を示すものではなく，管理する側（発注者や請負者）がこの基準（案）の主旨を理解し，すべての発注者と請負者が同一の認識に基づいて実施することによってはじめてその効果が期待できるものである。このため，この基準（案）を実施するにあたって，管理者側の認識を一致させ，主観による判断をなくすことが課題となる。

（2）セグメント補修歩掛調査

（1）で示したセグメント補修基準（案）のコスト縮減効果を確認するために，セグメント外径4300および5950㎜のシールドトンネル工事において，製作中のセグメントの一部に対してセグメント補修基準（案）を適用し，セグメントの補修に関わる歩掛を調査した。

調査対象としたセグメントの仕様は表－４．１５に示す通りである。

表－４．１５　調査対象セグメント仕様

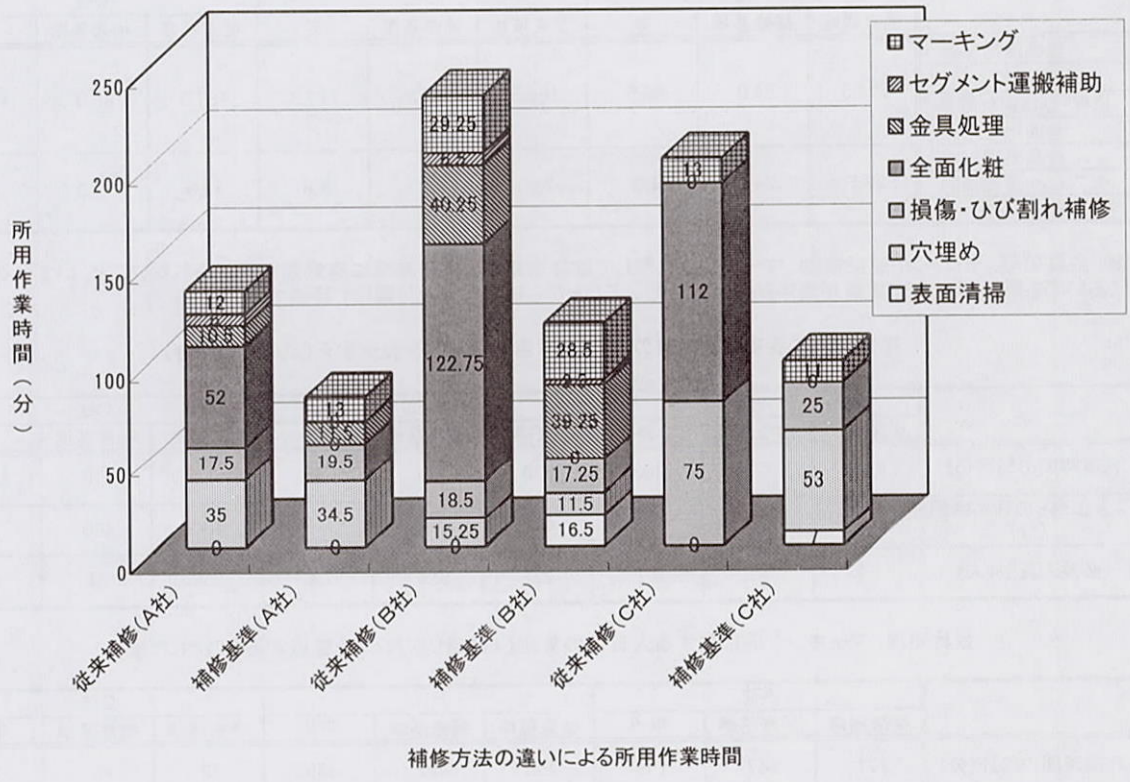
	外径	厚さ	幅	分割	継手構造	調査年月日
1	4,300㎜	200㎜	1,200㎜	6等分割	ボルトレス	H.12.2.12
2	5,950㎜	250㎜	1,200㎜	5+K	金具式	H.12.2.14,15
3	5,950㎜	250㎜	1,200㎜	6等分割	ボルトレス	H.12.2.16,17

歩掛調査は，セグメント製作工場において実際に製作されているセグメントを，従来通りの補修方法（従来補修）とセグメント補修基準（案）に従った補修方法（補修基準）によって補修し，それぞれの作業に要する時間を１分単位で計測した。補修作業の計測結果を作業時間集計表および補修方法の違いによる所要作業時間を表－４．１６、４．１７および図－４．８に示す。

この作業時間をセグメントリング１リング当りに要する作業時間に整理した。このとき，金具類の清掃，塗装，および，マーキング等に要する時間は補修方法による有意差が認められないため，全てのリングに要した作業時間を平均処理することとした。１日に補修に要する時間の算定に当って，１日当りのセグメント製作リング数を６リングと仮定した。これは，それぞれの工場の生産能力に差があること，現状の工場の稼働率が日産30㎥程度（１ライン当り）であることを考慮したものである。

補修作業，および，マーキング，金具処理等に要する人員数を算定するに当って，１人工の労働時間を８時間と仮定した。このとき，必要人員数の端数は切上げている。

集計の結果，それぞれの工場において補修作業に従事する人員を１名低減できる結果となった。このとき，実際に工場で作業している人員数と集計結果が異なっているが，これは，１人の作業員が補修作業以外の作業にも従事しているためである。



図－４．８　補修方法の違いによる所要作業時間

表－4．16　セグメント補修作業時間の測定結果

1リング当りの作業時間

単位(分)

	A社			B社			C社		
	従来補修	補修基準	差	従来補修	補修基準	差	従来補修	補修基準	差
表面清掃 穴埋め 損傷・ひび割れ補修 全面化粧	104.5	54.0	50.5	156.5	45.3	111.3	187.0	85.0	102.0
金具処理 セグメント運搬補助 マーキング	28.5	24.5	4.0	76.0	70.3	5.8	13.0	11.0	2.0

※　金具処理，セグメント運搬補助，マーキングに関しては従来補修と補修基準に有意差が認められないこと，いずれの工場においても概ね同一の作業員が集中的に作業していることから補修作業と分離して評価する。

補修作業に要する人員数の算定(1日当り6リングを製造するものとした場合)

	A社			B社			C社		
	従来補修	補修基準	差	従来補修	補修基準	差	従来補修	補修基準	差
作業時間の総計(分)	627	324	303	939	272	668	1,122	510	612
1人工当りの作業時間(分)	480	480	—	480	480	—	480	480	—
必要人員数(人)	1.4	0.7	0.7	2.0	0.6	1.4	2.4	1.1	1.3

金具処理，マーキング等に要する人員数の算定(1日当り6リングを製造するものとした場合)

	A社			B社			C社		
	従来補修	補修基準	平均	従来補修	補修基準	平均	従来補修	補修基準	平均
作業時間の総計(分)	171	147	159	456	422	439	78	66	72
1人工当りの作業時間(分)	480			480			480		
必要人員数(人)	0.4			1.0			0.2		

セグメント仕上げ作業に要する人員数

単位(人工)

	A社			B社			C社		
	従来補修	補修基準	差	従来補修	補修基準	差	従来補修	補修基準	差
補修作業	1.4	0.7	0.7	2.0	0.6	1.4	2.4	1.1	1.3
	2	1	1	2	1	1	3	2	1
マーキング他	0.4			1.0			0.2		
	1			1			1		
合計	1.8	1.1	0.7	3.0	1.6	1.4	2.6	1.3	1.3
	3	2	1	3	2	1	4	3	1

※　各項目の下段は小数点以下の人工を切上げて整数値としたものである。

表－4．17　セグメント補修作業時間集計表

作業時間集計表

単位(分)

A社											
各2リング	従来補修						補修基準				
	A	B	C			合計	A	B	C		合計
表面清掃	0	0	0			0	0	0	0		0
穴埋め	70	0	0			70	26	43	0		69
損傷・ひび割れ補修	35	0	0			35	39	0	0		39
全面化粧	0	104	0			104	0	0	0		0
金具処理	0	0	21			21	0	0	23		23
セグメント運搬補助	0	0	12			12	0	0	0		0
マーキング	0	0	24			24	0	0	26		26
合計	105	104	57			266	65	43	49		157

B社(1回目)											
各2リング	従来補修						補修基準				
	A	B	C	D	E	合計	A	B	C	D	合計
表面清掃	0	0	0	0	0	0	36	2	0	0	38
穴埋め	0	0	28	0	0	28	0	21	0	0	21
損傷・ひび割れ補修	0	0	36	0	0	36	7	25	6	0	38
全面化粧	122	120	5	0	0	247	0	0	0	0	0
金具処理	0	0	33	44	3	80	13	0	36	26	75
セグメント運搬補助	0	0	0	0	15	15	0	0	0	0	0
マーキング	0	0	0	56	0	56	0	0	57	0	57
合計	122	120	102	100	18	462	56	48	99	26	229

B社(2回目)											
各2リング	従来補修						補修基準				
	A	B	C	D	E	合計	A	B	C	D	合計
表面清掃	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	28
穴埋め	0	0	30	3	0	33	0	25	0	0	25
損傷・ひび割れ補修	0	0	29	9	0	38	17	14	0	0	31
全面化粧	120	120	4	0	0	244	0	0	0	0	0
金具処理	0	0	48	33	0	81	15	0	35	32	82
セグメント運搬補助	0	0	2	0	9	11	0	0	0	10	10
マーキング	0	0	0	61	0	61	0	0	57	0	57
合計	120	120	113	106	9	468	60	39	92	42	233

C社											
各1リング	従来補修						補修基準				
	A	B	C	D		合計	A	B	C	D	合計
表面清掃	0	0	0	0		0	0	0	7	0	7
穴埋め	0	0	0	0		0	45	0	0	8	53
損傷・ひび割れ補修	0	75	0	0		75	0	25	0	0	25
全面化粧	90	0	0	22		112	0	0	0	0	0
金具処理	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
セグメント運搬補助	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
マーキング	0	0	13	0		13	0	0	11	0	11
合計	90	75	13	22		200	45	25	18	8	96

1）セグメント補修基準（案）によるコスト縮減効果の算定

セグメント補修基準（案）を適用した場合のコスト縮減効果を算定するに当って，以下の仮定を設けた。この仮定は，それぞれのメーカーによってセグメント製造費の見積り内容が異なることや，工場に従事する作業員数が異なることを考慮し，コスト縮減効果を平均的に評価するためのものである。

① セグメント製作費のうち，補修に従事する人員の直接労務費はコンクリート加工費に含まれる。
② 工場の生産ラインのうち，コンクリート加工に携る人員は表－４．１８に基づいて５０名／ラインとした。
③ コンクリート加工費の単価は表－４．１９に基づいて１９，８００円／㎥とした。
④ 工場間接費は直接労務費の１５５％とした。

表－４．１８ セグメント工場人員構成

	総従業員数	ｺﾝｸﾘｰﾄ加工 作業員数	製造ライン数	１ライン当りの ｺﾝｸﾘｰﾄ加工作業員数
A工場	１４０	１００	2	５０
B工場	１２０	９０	2	４０
C工場	１６０	１１０	2	５５
平均	１４０	１００	2	５０

※：メーカーヒアリングによる。

表―４．１９ コンクリート加工費

	加工単価	備考
A社	１９，０００円／㎥	メーカー見積り実績による。
B社	２０，５００円／㎥	同上
C社	２０，０００円／㎥	同上
平均	１９，８３３円／㎥	

この仮定に基づいてセグメント補修基準（案）を適用した場合のコスト縮減効果を算定すると，表－４．２０の通りとなる。

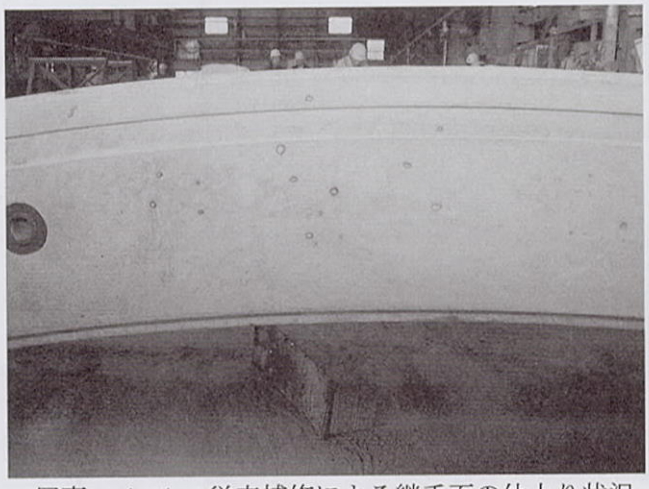
表－４．２０ セグメント補修基準（案）によるコスト縮減効果

	従来補修	補修基準	コスト縮減
コンクリート加工費	１９，８００円／㎥	１９，４００円／㎥	４００円／㎥
工場間接費	３０，６９０円／㎥	３０，０７０円／㎥	６２０円／㎥
合計	５０，４９０円／㎥	４９，４７０円／㎥	１，０２０円／㎥

ただし、このコスト縮減効果は，管理する側（発注者や請負者）がこの基準案の主旨を理解し，全ての発注者と請負者が同一の認識に基づいて実施することによってはじめてその効果が期待できるものである。

2）出来形の比較

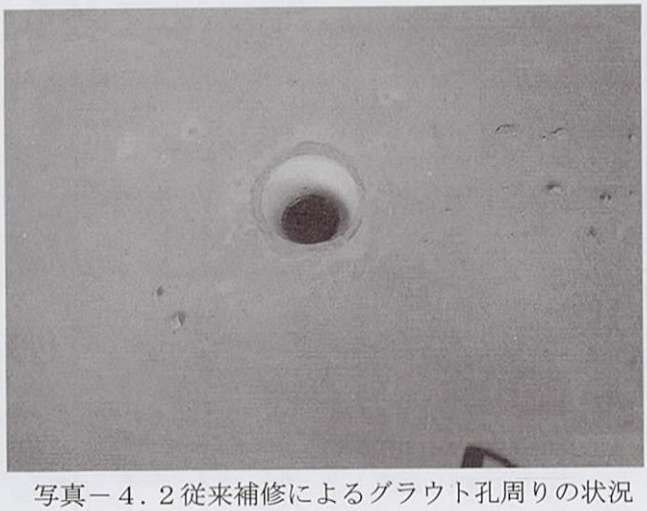
写真－４．１～４．３に従来補修による出来形を，写真－４．４～４．６に補修基準による出来形を示す。補修基準を適用した場合にも大きな問題は無いと判断される。



写真－４．１　従来補修による継手面の仕上り状況



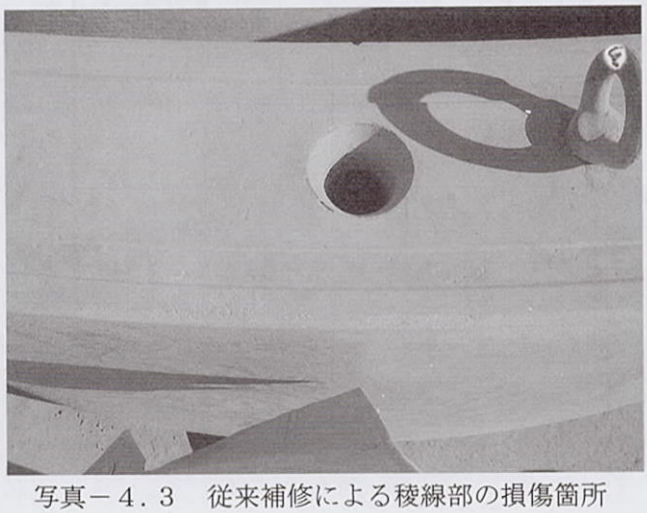
写真－４．４　補修基準による継手面の仕上り状況



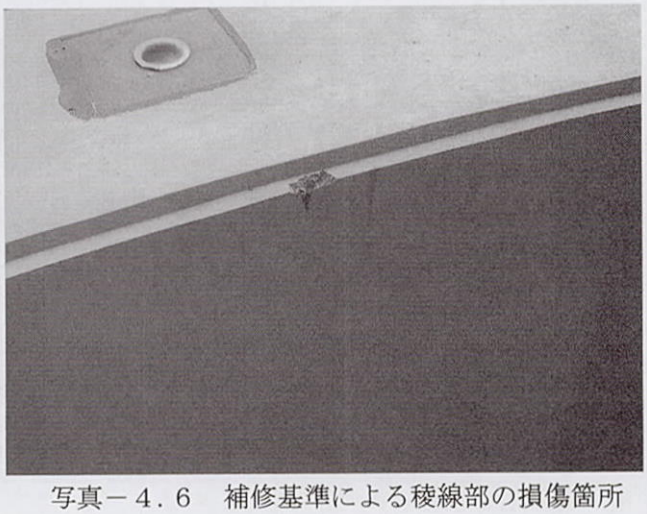
写真－４．２従来補修によるグラウト孔周りの状況



写真－４．５　補修基準によるグラウト孔周りの状況



写真－４．３　従来補修による稜線部の損傷箇所



写真－４．６　補修基準による稜線部の損傷箇所

5．シールド工事における施工管理のあり方

施工管理の合理化によるコストダウンを検討する上で、重要となる施工管理項目についてトンネルの使用目的・施工条件毎に整理を行った。さらに、「工期短縮」については、モデルケースを対象にセグメント幅拡大による工期の縮減効果の試算を、「シールド機の合理的な設計」については実績調査による必要装備推力の検討を、「シールド工事の施工管理の合理化」については施工管理内容の実態整理に基づいた合理化案の検討を行った。以下に検討結果を示す。

5．1 トンネルの使用目的・施工条件と施工管理項目

シールド工法の施工管理項目について、トンネルの使用目的・施工条件毎に表－5.1に整理した。

表－5.1　トンネルの使用目的・施工条件別施工管理項目

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">使用目的</td><td colspan="10">断面規模</td></tr>
<tr><td colspan="3">中，小口径</td><td colspan="4">中，大断面</td><td colspan="3">大断面</td></tr>
<tr><td colspan="2">下水道</td><td colspan="2">エネルギー</td><td>共同溝</td><td colspan="2">鉄道</td><td colspan="2">地下河川，</td><td colspan="3">道路</td></tr>
<tr><td colspan="2">施工深度</td><td colspan="2">上流，下流，流下勾配の接続の関係から比較的浅い</td><td colspan="3">勾配，線形の制限が少ないことから選択の自由度が高い</td><td colspan="4">地下構造物回避のため比較的深い</td><td colspan="3">アプローチ，地下構造物回避のため比較的深い</td></tr>
<tr><td colspan="2">土質</td><td colspan="2">施工深度が浅いことから沖積土層の掘削が多い</td><td colspan="3">施工深度の自由度が高いことから沖積から洪積土層までが掘削対象となる</td><td colspan="7">施工深度が深いことから洪積土層の掘削が多い</td></tr>
<tr><td colspan="2">施工条件と施工管理の関係</td><td colspan="2">施工深度が浅いことから地表面沈下抑制のための掘進管理が重要となる</td><td colspan="3">掘削地盤が多様となるため切羽管理の対応が重要となる</td><td colspan="7">切羽断面が大きいことから切羽管理が重要となる</td></tr>
<tr><td rowspan="6">機能と出来形の関係</td><td rowspan="2">線形</td><td>二次覆工が補正代になる</td><td>○</td><td colspan="2">機能への影響が少ない</td><td>○</td><td colspan="2">必要内空の確保のため管理が重要となる</td><td>◎</td><td>二次覆工が補正代になる</td><td>○</td><td colspan="2">必要内空の確保のため線形管理が重要となる</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>流下勾配の制限があり特に二次覆工省略では縦断線形の管理が重要となる</td><td>◎</td><td colspan="2"></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td>流下勾配の制限があり特に二次覆工省略では縦断線形の管理が重要となる</td><td>◎</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>内空変形</td><td>機能への影響が少ない</td><td>○</td><td colspan="2">機能への影響が少ない</td><td>○</td><td colspan="2">必要内空の確保のため管理が重要となる</td><td>◎</td><td>機能への影響が少ない</td><td>○</td><td colspan="2">必要内空の確保のため管理が重要となる</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>漏水</td><td>覆工の耐久性確保の面から管理が必要となる</td><td>○</td><td colspan="2">設備の維持，覆工の耐久性確保の面から管理が必要となる</td><td>◎</td><td colspan="2">施工深度が深いことから設備の維持，覆工の耐久性確保の面から管理が必要となる</td><td>◎</td><td>河川としての機能および覆工の耐久性確保の面から管理が必要となる</td><td>◎</td><td colspan="2">施工深度が深いことから設備の維持，覆工の耐久性確保の面から管理が必要となる</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>目開き，目違い</td><td>漏水との関係から管理が必要となる。</td><td>○</td><td colspan="2">漏水との関係から管理が必要となる。</td><td>◎</td><td colspan="2">漏水との関係から管理が必要となる。</td><td>◎</td><td>漏水との関係から管理が必要となる。</td><td>◎</td><td colspan="2">漏水との関係から管理が必要となる。</td><td>◎</td></tr>
<tr><td rowspan="2">損傷</td><td>線形，内空変形，漏水との関係から管理が必要となる。</td><td>○</td><td colspan="2">線形，内空変形，漏水との関係から管理が必要となる。</td><td>◎</td><td colspan="2">線形，内空変形，漏水との関係から管理が必要となる。</td><td>◎</td><td>線形，内空変形，漏水との関係から管理が必要となる。</td><td>○</td><td colspan="2">線形，内空変形，漏水との関係から管理が必要となる。</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>耐荷性能確保の面から管理が必要となる</td><td>◎</td><td colspan="2">耐荷性能確保の面から管理が必要となる</td><td>◎</td><td colspan="2">耐荷性能確保の面から管理が必要となる</td><td>◎</td><td>耐荷性能確保の面から管理が必要となる</td><td>◎</td><td colspan="2">耐荷性能確保の面から管理が必要となる</td><td>◎</td></tr>
</table>

注：◎，○は、トンネルの使用目的に対する出来形管理項目の重要度のランク分け　◎：管理の重要度が非常に高い　○：管理の重要度が高い

5．2 工期短縮の検討

（1）セグメント幅拡大による工期短縮

1）工期短縮の検討条件

シールド工事の工期を短縮することによるコスト縮減効果の検討を行った。

工期短縮には，シールド掘進速度の向上やセグメント組立時間の短縮，同時掘進組立等も考えられるが，現時点ではこれらの工期短縮効果や設備の変更に関わるコストが明確となっていない。このため，本検討においてはセグメント幅の拡大による組立回数の低減に注目した工期短縮効果を対象とした。

セグメント幅拡大による工期短縮を検討する対象は，以下の表－5．2をモデルケースとした。

表－5．2 モデルケースの設定条件

項　目	条　件	備　考
施工延長	1,200 m	
平面線形	直線	緩曲線を含む
縦断線形	緩勾配・直線	
セグメント外径	4,300 mm	
セグメント内径	4,000 mm	
仕上り内径	3,500 mm	
シールド種別	泥水シールド	
立坑	－	工期の検討内容には含めない
二次覆工	－	〃

モデルケースの設定根拠は以下の通りである。

① 施工延長はセグメント幅が1,000mmと1,200mmの両者で除することができる数字とし，最も一般的と考えられる1,000m程度とした。

② 平面線形に曲線を含まないシールドは考えにくいが，経済性の比較を容易にするために施工歩掛りの異なるR=200m以下の曲線を含まないものとした。

③ 縦断線形は既設構造物などを避けるために複雑になることがあるが，ここでは，下水道の縦断線形を想定し緩勾配・直線とした。

④ トンネル断面は下水道における仕上り内径の中で，RCセグメントが標準的に使用される領域の中で比較的小口径断面とした。

⑤ シールド種別は最も一般的な密閉型シールドの中から泥水シールドとした（土圧シールドも積算上の日進量は泥水シールドと同様である）。

⑥　立坑，ならびに二次覆工は基本的にシールドの施工速度と無関係に決まると考え考慮しないものとした。ただし，セグメント幅を拡大した場合にはシールド機長が長くなるため，立坑規模が大きくなることがあるため，別途検討する必要がある。

セグメント幅拡大による工期短縮効果の検討を行うに当って，基本となる施工歩掛りは（社）日本下水道協会：「下水道用設計積算要領－管路施設（シールド工法）編－」、(1998 年) [26]（以下，「積算要領」と称する）によるものとした。

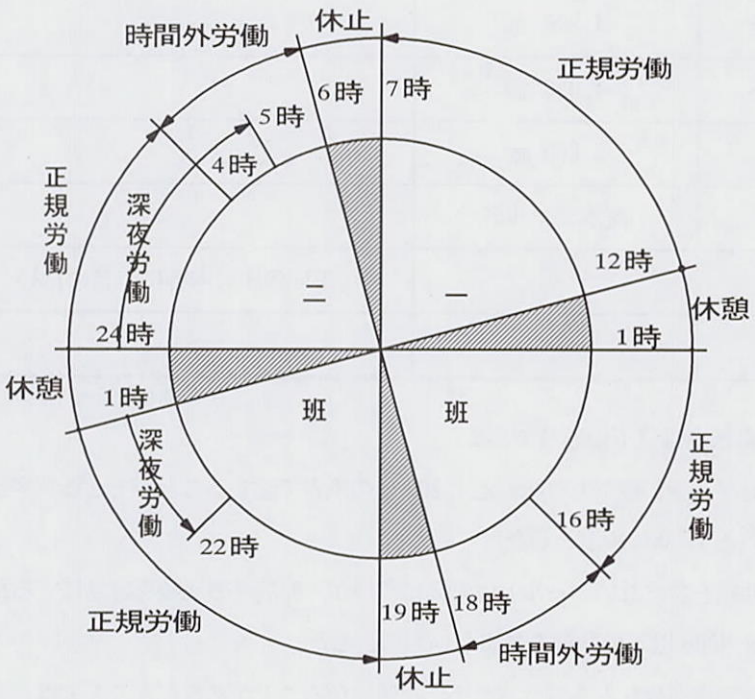
現行の積算要領はセグメント幅 1,000㎜ を対象としており，セグメント幅を拡大した場合にはセグメント組立回数が低減できるため日進量が増加すると考えられる。そこで，以下の仮定に基づいてセグメント幅を 1,200㎜ とした場合の日進量を設定し，工期短縮効果を検討する。

①　平均掘進速度は 30㎜/分とする。

②　セグメント組立時間は 40 分/リングとし，セグメント幅によって変化しないものとする。

③　朝礼，入出坑ならびに配管延長，軌道延長などの雑作業は 240 分/日と仮定する。

④　１日当りの作業時間は図－５．１に示すように２交代実働２０時間とする。



図－５．１　作業サイクル（一次覆工）

2）セグメント幅による工期の算定

積算要領に示されている直線区間の日進量は表－５．３に示す通りである。ここでは，これらの仕上り内径のうち3,500㎜について検討を行うものとする。

表－５．３　直線区間および初期掘進区間の日進量

仕上がり内径 (㎜)	直線区間 (m/日)	初期および到達掘進区間 (m/日)
1,500	6.8	3.4
1,650	7.1	3.6
1,800	7.3	3.7
2,000	7.5	3.8
2,200	7.6	3.8
2,400	7.7	3.9
2,600	7.8	3.9
2,800	7.8	3.9
3,000	7.8	3.9
3,250	7.7	3.9
3,500	7.5	3.8
3,750	7.2	3.6
4,000	6.9	3.5
4,250	6.6	3.3
4,500	6.3	3.2
4,750	6.2	3.1
5,000	6.1	3.1

セグメント幅1,000㎜における１日当りの掘進リング数を求めると以下のようになる。

１リングの掘進に要する時間　　：t_1=1,000/30=33.3分

１リングの掘進組立に要する時間：t_2=33.3+40=73.3分

掘進組立に使用できる作業時間　：t_3=1,200-240=960分

１日当りの掘進リング数　　：N_R=960/73.3=13.1リング

設定した仮定に基づいて算定した日進量と積算上の日進量は13.1(m/日)と7.5(m/日)と異なる。この差は，シールド機のメンテナンス等によって実働作業日数が低減することによるものと考え，作業日数に対する稼働率を以下のように設定した。

稼働率：α=7.5/13.1=57.3%

同様にセグメント幅1,200㎜の日進量を算定すると以下のようになる。

１リングの掘進に要する時間　　：t_1=1,200/30=40分

１リングの掘進組立に要する時間：t_2=40+40=80分

掘進組立に使用できる作業時間　：t_3=1,200-240=960分

1日当りの掘進リング数　：N_R=960/80=12リング

稼働率を考慮した日進量　：M_s=12×1.2×0.573=8.3m/日

この結果から，セグメント幅を1,000mmから1,200mmに拡大することによって，積算上の日進量は7.5mから8.3mになり，約10%の進捗増となる。初期掘進ならびに到達掘進の日進量が積算上直線区間の1/2に設定されていることから，表－5．4に示すように初期掘進ならびに到達掘進の日進量も同様の比率で向上すると考える。この結果，シールドトンネルの掘進に要する工期は表－5．5の通りとなり約10%短縮できるものと考えられる。

表－5．4　セグメント幅による日進量の算定結果

項　　目	記号・単位	B=1,000mm	B=1,200mm
1リングの掘進に要する時間	t_1（分）	33.3	40.0
1リングの掘進組立に要する時間	t_2（分）	73.3	80.0
掘進組立に使用できる作業時間	t_3（分）	960.0	
1日当りの掘進リング数	N_R（リング）	13.1	12
稼　働　率	α	0.573	
稼働率を考慮した日進量	M_s（m）	7.5	8.3

表－5．5　セグメント幅によるシールド掘進日数の比較

	初期掘進	本掘進	到達掘進	合計
施工距離	30m	1,165m	5m	1,200m
セグメント幅1,000mm	7.9日	155.3日	1.3日	164.5日(100%)
セグメント幅1,200mm	7.1日	140.4日	1.2日	148.8日(90%)

（2）工期短縮による経済効果の検討

セグメント幅の拡大によってシールド掘進工の工期が約10%短縮できることから，その工期短縮によるコスト縮減効果を検討する。

1）直接工事費

ここでは，仕上り内径3,500mmのシールドトンネルについて，セグメント幅を1,000mmとした場合と1,200mmとした場合について直接工事費を概算し，工期短縮による経済効果を比較する。

直接工事費の算定に当っては，泥水処理設備などを表－5．6に示すものと仮定する。仮定した設備はセグメント外径4.3mの実施例を参考とした。

表－5．6シールド設備

機　械　名		諸　元	価格算定	備考
シールド機	シールド機	泥水加圧式	全損	
	シールドジャッキ	100t×18本	損料	
	中折れジャッキ	80t×4本	〃	
	パワーユニット	シールド用	〃	
		カッター用	〃	
		アジテーター用	〃	
		コピーカッター用	〃	
	油圧モーター	カッター用	〃	
		アジテーター用	〃	
		エレクター用	〃	
	パワーユニット台車		全損	
	仮推進用ホースケーブル		〃	
	シールド機現地組立運搬		〃	
流体輸送設備	スラリーポンプ		損料	
	スラリーポンプ起動器盤		〃	
	監視操作盤類		〃	
	計装機器		〃	
	伸縮管装置		〃	
	後続台車		〃	
	泥水輸送設備現地組立撤去運搬		全損	
泥水処理設備	一次処理装置	振動ふるい	損料	1台
	二次処理装置	フィルタープレス	〃	1台（5m³）
	泥水管理装置		〃	
	ベルトコンベア装置		〃	
	操作制御盤類		〃	
	土砂ホッパー		〃	
	泥水処理設備据付け費		全損	
	泥水処理設備撤去費		〃	
その他	裏込め注入装置		損料	
	据付け撤去運搬		全損	
	材料台車		損料	
	機関車		〃	
	門型クレーン		〃	
	電動ホイスト		〃	
	送風機		〃	

セグメント幅1,000mmと1,200mmについての概算直接工事費の算定結果を表－５．７および表－５．８に示す。

表－５．７　概算直接工事費の算定結果（B=1,000mm）

項　目	仕　様	数　量	単　位	単　価（円）	金　額（円）
【一次覆工】					
セグメント	外径4,300mm 厚さ　150mm	1,200	リング	323,000	387,600,000
シール材		46,400	m	700	32,480,000
労務費		1,200	m	130,000	156,000,000
裏込め注入材	130％	1,390	m^3	25,000	34,750,000
残土処理		18,500	m^3	10,000	185,000,000
シールドマシン	φ4,430mm	1	台	330,000,000	330,000,000
仮設備	流体輸送, 泥水処理等	1	式	250,000,000	250,000,000
（小計）					1,375,830,000
【坑内整備工】					
労務費		1,200	m	15,000	18,000,000
機械器具損料		1	式	8,000,000	8,000,000
（小計）					26,000,000
【二次覆工】					
二次覆工	厚さ　250mm	3,540	m^3	50,000	177,000,000
（小計）					177,000,000
合　計					1,578,830,000

表－５．８　概算直接工事費の算定結果（B=1,200mm）

項　目	仕　様	数　量	単　位	単　価（円）	金　額（円）
【一次覆工】					
セグメント	外径4,300mm 厚さ　150mm	1,000	リング	355,000	355,000,000
シール材		41,000	m	700	28,700,000
労務費		1,200	m	118,000	141,600,000
裏込め注入材	130％	1,390	m^3	25,000	34,750,000
残土処理		18,500	m^3	10,000	185,000,000
シールドマシン	φ4,430mm	1	台	355,000,000	355,000,000
仮設備	流体輸送, 泥水処理等	1	式	226,000,000	226,000,000
（小計）					1,326,050,000
【坑内整備工】					
労務費		1,200	m	15,000	18,000,000
機械器具損料		1	式	8,000,000	8,000,000
（小計）					26,000,000
【二次覆工】					
二次覆工	厚さ　250mm	3,540	m^3	50,000	177,000,000
（小計）					177,000,000
合　計					1,529,050,000

工事費の算定に当って，シールド機の損料部分はシールド機全体の価格のうち 20%と仮定した。また，流体輸送設備，泥水処理設備，その他の仮設備については，全体価格のうち 5%を全損価格と仮定した。

この結果から，表－５．９に示すようにセグメント幅拡大によるシールドトンネル工事直工費の低減は概ね 3%程度と考えられる。ただし，この直工費の低減の中にはセグメントおよびシール材の低減効果を含む。

表－５．９ セグメント幅拡大によるシールドトンネル工事直工費の低減　　単位：円

セグメント幅	直工費	参考 (直接工事費のうちセグメント， シール材の縮減)
1,000mm	1,578,830,000	420,080,000
1,200mm	1,529,050,000	383,700,000
差額	49,780,000	36,380,000
低減率	3.2%	2.3%

2）間接工事費および一般管理費等

間接工事費ならびに一般管理費等は建設省土木工事積算基準に準拠して算定する。

直接工事費の基づいた間接工事費ならびに一般管理費の算定結果を表－５．１０に示す。

表－５．１０　間接工事費ならびに一般管理費の算定結果　　単位：円

セグメント幅	現場管理費	共通仮設費	一般管理費
1,000mm	17.6%	6.7%	9.4%
	277,874,080	105,781,610	184,307,057
	(203,940,000)	(77,636,250)	(135,390,667)
1,200mm	17.7%	6.7%	9.4%
	270,641,850	102,446,350	177,800,990
	(202,726,950)	(76,738,450)	(133,932,648)
低減率	2.7%	3.2%	3.5%
	(0.6%)	(1.2%)	(1.1%)

注）下段の( )内はセグメントおよびシール材の縮減効果を除いたものである。

3）総工事費

直接工事費に間接工事費および一般管理費等を加えた総工事費の算定結果を表－５．１１に示す。

この工事費の算定結果は工事発注金額について整理したものであり，工期短縮はこの他に建設資金の金利低減，使用料の早期回収などの効果がある。

表－５．１１　総工事費の算定結果　　単位：円

セグメント幅	直接工事費	現場管理費	共通仮設費	一般管理費	総工事費
1,000mm	1,578,830,000	17.6%	6.7%	9.4%	2,146,792,747
		277,874,080	105,781,610	184,307,057	
	(1,158,750,000)	(203,940,000)	(77,636,250)	(135,390,667)	(1,575,716,917)
1,200mm	1,529,050,000	17.7%	6.7%	9.4%	2,079,939,190
		270,641,850	102,446,350	177,800,990	
	(1,145,350,000)	(202,726,950)	(76,738,450)	(133,932,648)	(1,558,748,048)
低減率	3.2%	2.7%	3.2%	3.5%	3.1%
	(0.8%)	(0.6%)	(1.2%)	(1.1%)	(1.1%)

注）下段の（　）内はセグメントおよびシール材の縮減効果を除いたものである。

5．3　シールド機の合理的な設計の検討

（1）施工実績の調査・分析

シールド機のジャッキ推力やカッタートルクなどの装備能力を低減することで，シールド機の製作コストを縮減することが可能となると考えられる。そこで，シールド機の合理的な設計方法を検討する目的で，実施工におけるシールド機の装備能力とそれぞれの装備における使用レベルを調査した。

調査対象は最近のシールド工事の中から無作為に抽出した施工記録とし，調査項目は以下の通りとした。

① シールド径
② シールド種別
③ トンネル線形
④ 土質条件（土被り，掘削地盤の土質）
⑤ シールドジャッキ推力
⑥ カッタートルク

今回調査したシールド工事の現場における装備総推力は表－５．１２に示すようになっている。これに対して，（社）日本下水道協会：「下水道用設計積算要領－管路施設（シールド工法）編－」、(1998 年) [26]によると，切羽単位面積当りの装備推力は1100kN/m²程度が目安となっている。

このことから，最近のシールド工事におけるシールド機の装備能力は全般に高めの設定となっていることが推定される。

表－５．１２　装備総推力の例

	装備総推力 (kN)	切羽面積当り推力 (kN/m²)	シールド外径 (m)
A工事	4,800	1,350	2.13
B工事	4,800	1,170	2.29
C工事	4,000	1,120	2.13
D工事	4,000	1,120	2.13
E工事	30,000	1,290	5.44
F工事	30,000	1,440	5.15
G工事	16,000	1,170	4.18
H工事	24,000	1,220	5.01
I工事	31,500	1,360	5.44
J工事	30,000	1,430	5.17
K工事	14,000	1,200	3.85

シールドの掘進に伴うジャッキ推力ならびにカッタートルクの使用状況を添付資料－３に示す。

これらの図から，推力が高いのは，シールド工事全体の中で一部に限られている傾向があることから，特殊な条件において使用推力が上がるものと推定される。また、使用総推力は装備総推力の概ね30～50％程度，ジャッキ１本当りの使用推力およびカッタートルクは20～80％程度に分布しているものと考えられる。

各工事毎の使用推力およびカッタートルクの分布をみると，正規分布として評価することができると考えられる。そこで，各工事毎の使用推力ならびにカッタートルクについて正規分布解析を行った結果を表－５．１３～表－５．１５に示す。この結果から，推力，カッタートルクともに概ね装備能力相当を必要とする工事事例が有ることが確認された。しかしながら，工事によっては使用推力が装備総推力の50％に満たないものもある。

表－５．１３　総推力に関する正規分布解析結果

	地盤条件	地盤状態	シールド機種別	マシン外径 D(m)	最大土被り H(m)	土被り比 H/D	最小曲線半径 (m)	平均総推力 (×10kN)	標準偏差σ	3σ	平均総推力+3σ (×10kN)	装備総推力 (×10kN)	装備能力使用率 (%)
A工事	砂質土	軟弱	泥水式	2.13	12.4	5.82	25	93.7	37.6	112.9	206.6	480	43.0
B工事	砂質土	軟弱～中位	泥土圧	2.29	6.7	2.93	20	154.9	68	203.9	358.8	480	74.8
C工事	粘性土	中位	泥土圧	2.13	14.2	6.67	40	98.5	26.7	80	178.5	400	44.6
D工事	粘性土	中位	泥土圧	2.13	14.6	6.85	35	105.7	32.3	97	202.7	400	50.7
E工事	砂質土	良質	泥土圧	5.44	35.3	6.49	100	1093	179.4	538.2	1631	3000	54.4
F工事	土丹	良質	泥土圧	5.15	31.1	6.04	80	1432	320.4	961.2	2393.5	3000	79.8
G工事	粘性土	軟弱～中位	泥土圧	4.18	6.5	1.56	15	352.3	62.5	187.5	539.8	1600	33.7
H工事	砂質土、粘性土互層	中位	泥水式	5.01	27	5.39	100	539.9	138.9	416.8	956.7	2400	39.9
I工事	砂質土	良質	泥土圧	5.44	26	4.78	80	1386	345.3	1035.9	2422.4	3150	76.9
J工事	砂質土、粘性土互層	良質	泥土圧	5.17	35	6.77	80	1082	363.2	1089.7	2172.1	3000	72.4
K工事	砂質土	良質	泥水式	3.85	27	7.01	35	387.2	124.5	373.6	760.8	1400	54.3

表－５．１４　ジャッキ１本当りの推力に関する正規分布解析結果

	地盤条件	地盤状態	シールド機種別	マシン外径 D(m)	最大土被り H(m)	土被り比 H/D	最小曲線半径 (m)	平均J1本推力 (×10kN)	標準偏差σ	3σ	平均J推力+3σ (×10kN)	装備ジャッキ1本推力 (×10kN)	装備能力使用率 (%)
A工事	砂質土	軟弱	泥水式	2.13	12.4	5.82	25	18.3	10.4	31.1	49.4	60	82.3
B工事	砂質土	軟弱～中位	泥土圧	2.29	6.7	2.93	20	29.3	9.4	28.1	57.4	60	95.7
C工事	粘性土	中位	泥土圧	2.13	14.2	6.67	40	20.1	6	17.9	38	50	76.0
D工事	粘性土	中位	泥土圧	2.13	14.6	6.85	35	22	7.1	21.4	43.4	50	86.8
E工事	砂質土	良質	泥土圧	5.44	35.3	6.49	100	72.6	15	44.9	117.5	150	78.3
F工事	土丹	良質	泥土圧	5.15	31.1	6.04	80	89.6	20.5	61.4	150.9	150	100.6
G工事	粘性土	軟弱～中位	泥土圧	4.18	6.5	1.56	15	27.3	4.7	14.1	41.4	100	41.4
H工事	砂質土、粘性土互層	中位	泥水式	5.01	27	5.39	100	54.8	13.7	41.2	96	150	64.0
I工事	砂質土	良質	泥土圧	5.44	26	4.78	80	―――	―――	―――	―――	150	―――
J工事	砂質土、粘性土互層	良質	泥土圧	5.17	35	6.77	80	58.7	23.4	70.2	128.9	150	85.9
K工事	砂質土	良質	泥水式	3.85	27	7.01	35	42.5	11.5	34.6	77.1	100	77.1

表－５．１５　カッタートルクに関する正規分布解析結果

	地盤条件	地盤状態	シールド機種別	マシン外径 D(m)	最大土被り H(m)	土被り比 H/D	最小曲線半径 (m)	平均トルク (×10kN·m)	標準偏差σ	3σ	平均トルク+3σ (×10kN·m)	装備カッタトルク (×10kN·m)	装備能力使用率 (%)
A工事	砂質土	軟弱	泥水式	2.13	12.4	5.82	25	8.4	1	3.1	11.5	20	57.5
B工事	砂質土	軟弱～中位	泥土圧	2.29	6.7	2.93	20	10	3	9.1	19.1	22.1	86.4
C工事	粘性土	中位	泥土圧	2.13	14.2	6.67	40	9.3	2.3	7	16.2	24.2	66.9
D工事	粘性土	中位	泥土圧	2.13	14.6	6.85	35	9.6	2.6	7.8	17.4	24.2	71.9
E工事	砂質土	良質	泥土圧	5.44	35.3	6.49	100	128.8	15.5	46.5	175.3	521.8	33.6
F工事	土丹	良質	泥土圧	5.15	31.1	6.04	80	196	70.4	211.3	407.9	407.5	100.1
G工事	粘性土	軟弱～中位	泥土圧	4.18	6.5	1.56	15	―――	―――	―――	―――	123.2	―――
H工事	砂質土、粘性土互層	中位	泥水式	5.01	27	5.39	100	47.8	13	39	86.8	173	50.2
I工事	砂質土	良質	泥土圧	5.44	26	4.78	80	173.6	40.9	122.7	296.3	376.6	78.7
J工事	砂質土、粘性土互層	良質	泥土圧	5.17	35	6.77	80	156.4	36	108.1	264.5	348	76.0
K工事	砂質土	良質	泥水式	3.85	27	7.01	35	―――	―――	―――	―――	82.3	―――

（2）必要装備能力の評価

施工実績の調査結果から，施工条件によっては現状の装備総推力を必要としない場合が考えられるため，シールド種別，掘削地盤の土質，トンネル土被り比に注目してジャッキ推力ならびにカッタートルクの使用頻度分布を整理した。トンネル線形との関連付けは現時点では完了していないため，今後の検討課題とする。

表－５．１６にシールド機種別、掘削地盤の土質別、土被り比別にジャッキ推力ならびにカッタートルクの使用頻度を示す。

１）シールド機種別の評価

表－５．１６から，土圧系シールドの場合には全般に使用推力が高く，泥水シールドの場合には使用推力が低いことがわかる。同様に，カッタートルクについても明らかに泥水シールドの方が低くなっている。そこで，土圧系シールドと泥水シールドにデータを分けて正規分布解析を実施した。その結果を，表－５．１７に示す。

この結果から，泥水シールドの場合には，現状の装備総推力を 70％程度に，カッタートルクについても同様に 60％程度に低減できる可能性があると判断される。また，土圧系シールドの場合には，装備総推力で 90％程度に，カッタートルクは 80％程度に低減できる可能性があると判断される。

２）土質別の評価

表－５．１６から，総推力については粘性土地盤が全体に低い値を示しているものの，ジャッキ１本当りの推力，カッタートルクについては有意な差はみられない。

粘性土地盤とその他の地盤にデータを分けて正規分布解析を実施した結果を表－５．１８に示す。この結果から，土質条件によらず推定最大推力，ならびにカッタートルクは概ね装備能力の 80％程度に低減できる結果が得られた。

３）土被り比別の評価

表－５．１６から，土被り比による使用推力，使用カッタートルクに有意な差はみられない。これは，表－５．１９に示す土被り比別にデータを分けて正規分布解析を実施した結果からも同様に判断できる。

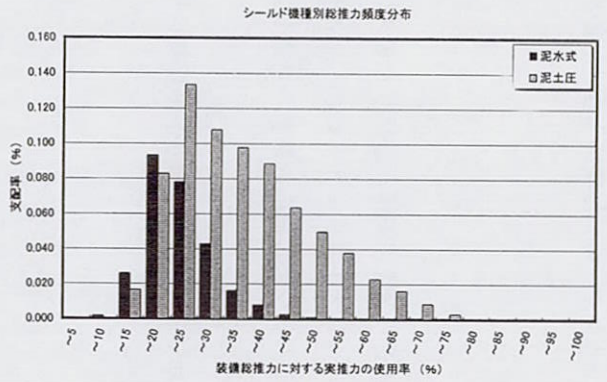
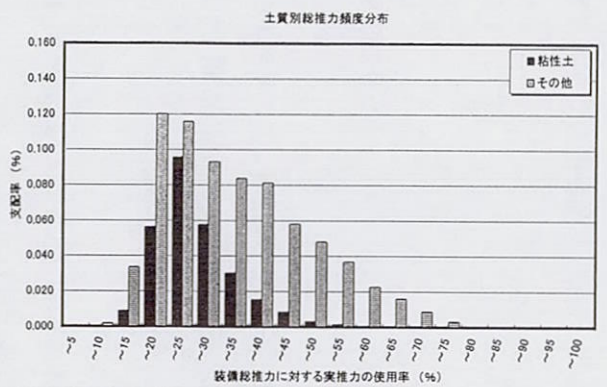
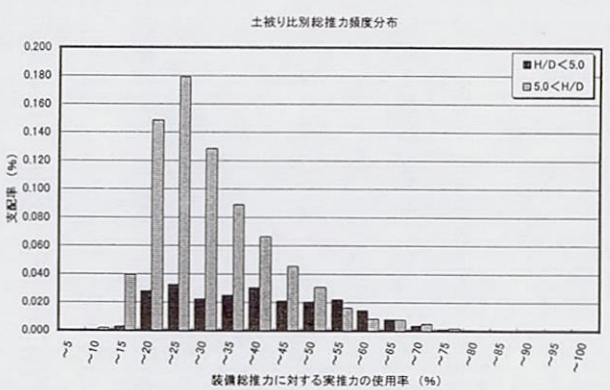
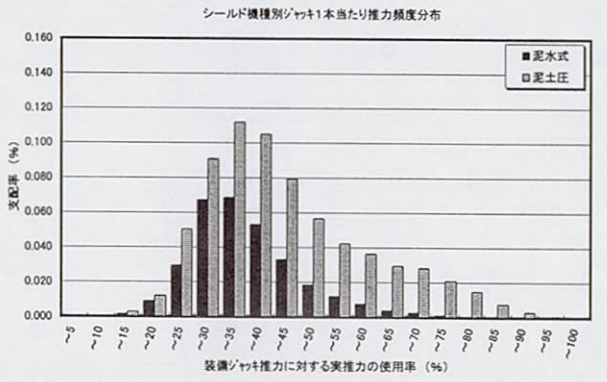
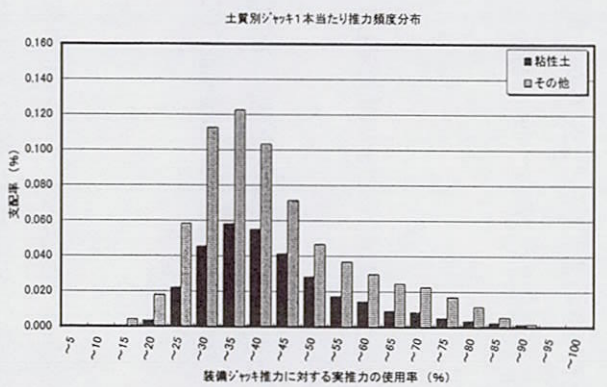
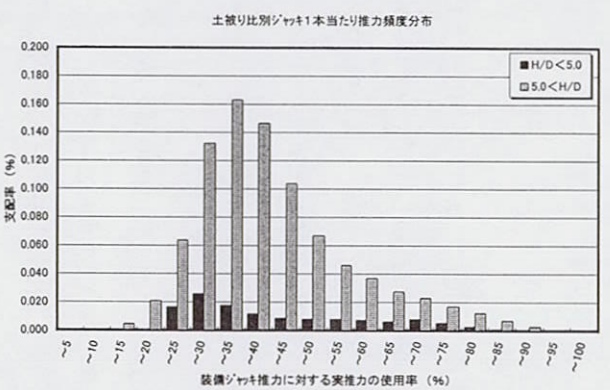
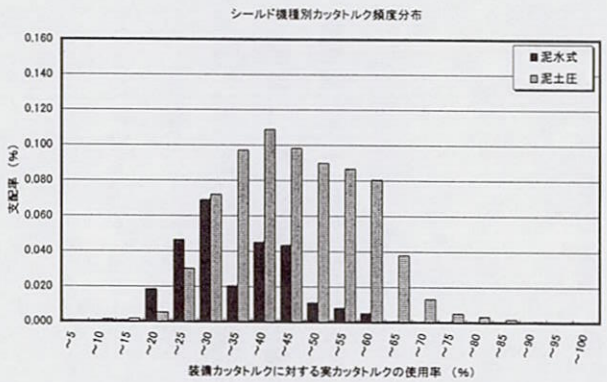
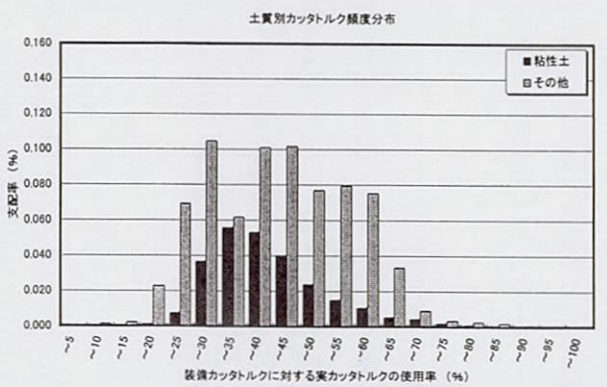
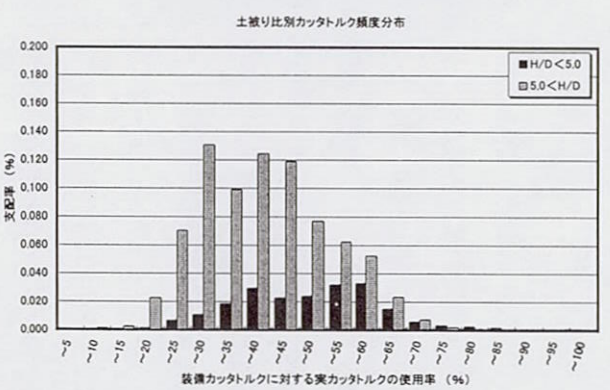
正規分布解析の結果からは，使用推力で装備総推力の 90％以上，カッタートルクで装備能力の 85％程度が必要と推定される。

４）総合的な評価

シールド機種，掘削地盤の土質，土被り比に着目してシールド機の装備能力の使用実績を評価した結果，泥水シールドにおいては十分に装備能力を低減できる可能性があると判断されるが，土圧系シールドにおいては現状の装備を大幅に低減することは難しいと判断される。ただし，今後検討を進めるトンネル線形の影響を考慮した場合に土圧系シールドにおいても装備能力の低減の可能性は残されていると考えられる。

今後，さらにデータの蓄積をはかり，精度を上げる必要が有ると考えられるが，基本的にはシールドの装備能力を低減できる可能性は確認されたものと考える。

表－5.16　ジャッキ推力ならびにカッタートルクの使用頻度

	A．シールド機種別	B．土　質　別	C．土被り比別
平均総推力			
ジャッキ1本当たりの推力			
カッタトルク			

表－５．１７　シールド機種別の正規分布解析結果

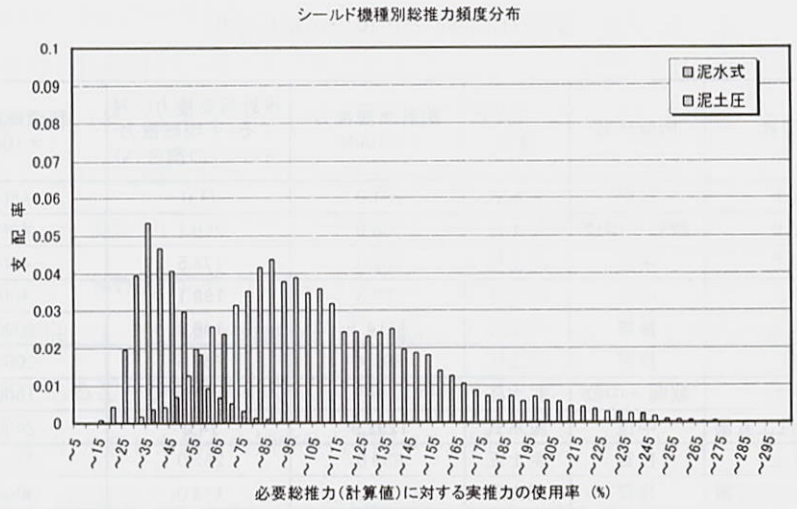
		土圧系シールド	泥水シールド
ジャッキ総推力	平均使用率	33.4%	21.9%
	変動係数	12.8%	6.5%
	推定最大使用率	71.7%	41.5%
ジャッキ１本当り推力	平均使用率	42.2%	35.0%
	変動係数	15.4%	10.3%
	推定最大使用率	88.4%	65.9%
カッタートルク	平均使用率	43.3%	32.5%
	変動係数	12.3%	9.7%
	推定最大使用率	80.1%	61.6%

表－５．１８　土質別の正規分布解析結果

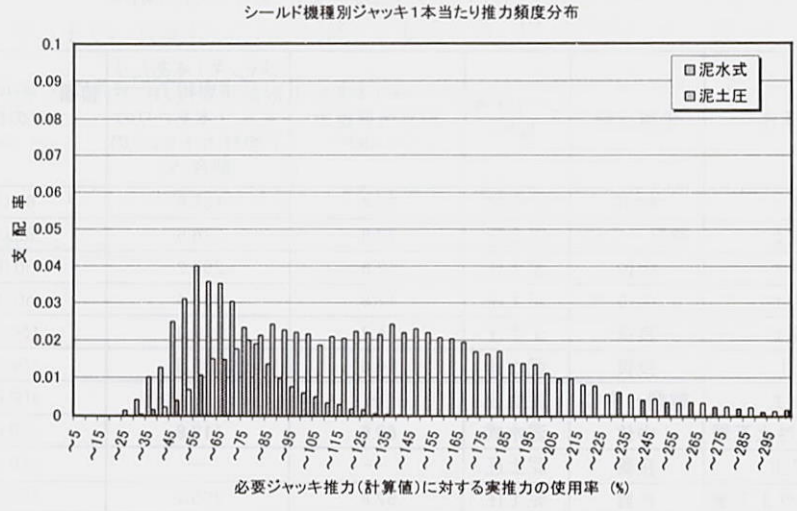
		粘性土地盤	その他の地盤
ジャッキ総推力	平均使用率	25.2%	32.2%
	変動係数	7.3%	13.5%
	推定最大使用率	47.1%	72.8%
ジャッキ１本当り推力	平均使用率	40.4%	39.8%
	変動係数	13.7%	14.7%
	推定最大使用率	81.4%	84.1%
カッタートルク	平均使用率	39.2%	40.8%
	変動係数	10.3%	13.2%
	推定最大使用率	70.1%	80.5%

表－５．１９　土被り比別の正規分布解析結果

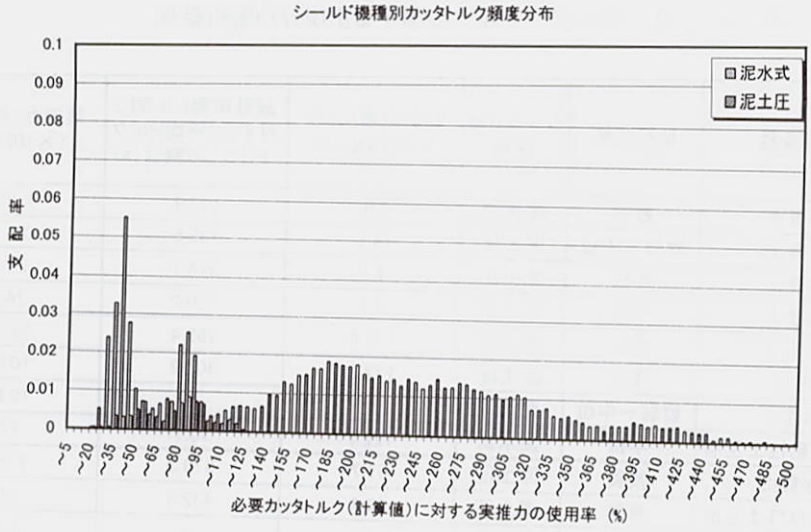
		H/D＜5.0	5.0＜H/D
ジャッキ総推力	平均使用率	36.8%	28.3%
	変動係数	14.1%	11.3%
	推定最大使用率	78.9%	62.3%
ジャッキ１本当り推力	平均使用率	41.7%	39.8%
	変動係数	16.5%	14.1%
	推定最大使用率	91.3%	81.9%
カッタートルク	平均使用率	47.5%	38.6%
	変動係数	12.8%	11.8%
	推定最大使用率	85.9%	74.1%



図－５．２ 総推力頻度分布



図－５．３ ジャッキ１本あたり推力頻度分布



図－５．４ カッタトルク頻度分布

（4）装備総推力の低減による経済効果の検討

装備総推力の低減の可能性を受けて，現状の仕様で設計したシールド機と，装備総推力を低減したシールド機の試設計を行い，経済性の比較を行う。

シールド機の試設計は労力も掛かることから多くのケースを検討することはできないため，代表的なモデルケースを設定して検討する。ここでは、泥水式シールドの場合，25%程度の装備総推力の低減が可能であることが確認されたことから、泥水式シールドを対象として、装備総推力を100%（現状），75%の場合について検討を行った。また，参考として50%の場合についても検討を行った。シールドジャッキの装備総推力を低減した場合のシールド機コストの試算結果を表－５．２３に示す。なお、検討の対象としたシールド機の仕様は表－５．２４に示す。

この試算結果によると，装備総推力を50%に低減した場合でもシールド機の製造コストは1%程度低減されるにとどまるものとなった。ただし，ポンプユニットの所要電力が低減されることから，シールド機の積算に当って，電力消費量が低減される。その結果，機械損料が若干低減される。

表－５．２３　シールドジャッキの装備総推力を低減した場合のシールド機コストの比較　　（単位：円）

シールド径 ＼ 装備総推力	φ5.44m	φ7.15m	φ9.7m	φ14.14m
	泥水ールド	泥水シールド	泥水シールド	泥水シールド
100%（現状）	628,000,000	936,800,000	1,875,500,000	7,473,000,000
	100%	100%	100%	100%
75%	624,000,000	931,000,000	1,865,000,000	7,427,000,000
	99.4%	99.4%	99.４%	99.4%
50%	617,000,000	921,000,000	1,850,000,000	7,375,000,000
	98.2%	98.3%	98.6%	98.7%

表－５．２４　シールドジャッキ装備総推力の低減に関する検討結果

		φ5.44m 泥水式シールド	φ7.15m 泥水式シールド	φ9.70m 泥水式シールド	φ14.14m 泥水式シールド
100%	ｼｰﾙﾄﾞｼﾞｬｯｷ仕様 総推力	1500kN×1,150st×35000kN/㎡×20本 30000kN	1500kN×1,500st×35000kN/m²×28本 42000kN	3000kN×1,400st×35000kN/cm²×29本 87000kN	5000kN×2,550st×35000kN/m²×48本 240000kN
	ポンプユニット	52l/min×35000kN/m²×37kW×4P×1台	66l/min×35000kN/m²×45kW×4P×1台	50/155l/min×35000/15000kN/m²×45kW×4P×2台	160/253l/min×35000/21000kN/m²×110kW×4P×3台
	油タンク	1,800 l	2,000 l	2,800 l	13,000 l
75%	ｼｰﾙﾄﾞｼﾞｬｯｷ仕様 総推力	1200kN×1,150st×35000kN/mm²×20本 24000kN	1200kN×1,500st×35000kN/m²×28本 33600kN	2000kN×1,400st×35000kN/m²×29本 58000kN	4000kN×2,550st×35000kN/m²×48本 180000kN
	ポンプユニット	42l/min×35000kN/m²×30kW×4P×1台	53l/min×35000kN/m²×37kW×4P×1台	36/104l/min×35000/15000kN/m²×30kW×4P×2台	130/222l/min×35000/21000kN/m²×90kW×4P×3台
	油タンク	1,600 l	1,700 l	2,550 l	10,500 l
50%	ｼｰﾙﾄﾞｼﾞｬｯｷ仕様 総推力	800kN×1,150st×35000kN/m²×20本 16000kN	800kN×1,500st×35000kN/m²×28本 22400kN	1500kN×1,400st×35000kN/m²×29本 43500kN	2000kN×2,550st×35000kN/m²×48本 96000kN
	ポンプユニット	29l/min×35000kN/m²×22kW×4P×1台	37l/min×35000kN/m²×30kW×4P×1台	50/155l/min×35000/15000kN/m²×45kW×4P×1台	133/222l/min×35000/21000kN/m²×90kW×4P×2台
	油タンク	1,400 l	1,300 l	2,350 l	8,000 l
備　考					

５．４ シールド工事の施工管理合理化案の検討

表―５.２５に現行工事仕様書等に記述されている施工管理の例をトンネルの使用目的ごとに整理し、施工管理の合理化案として管理指定の内容と事業者と請負者の役割分担を併記した。

表－5.25　シールド工法の施工管理の内容と合理化（案）

項目	内容			各事業者における仕様書等による現行の施工管理内容						パイロット事業を踏まえた施工管理の合理化（案）		
				下水道	共同溝	河川	鉄道	エネルギーA	エネルギーB	管理内容の整理	役割の分担	
											発注者	請負者
掘削管理	切羽安定	泥水式	泥水圧管理	泥水圧の管理	※泥水式を対象とせず	切羽の安定確保	切羽圧の管理	総合管理の実施	切羽圧の管理	切羽圧の管理	管理計画書の提出指定	計画書の提出と自主管理
			泥水管理 泥水密度	記述なし		試験の実施と管理値の設定	試験の実施と管理値の設定		試験の実施と管理値の設定	試験の実施と管理値の設定		
			泥水管理 粘度									
			泥水管理 イールドバリュー									
			泥水管理 砂分含有率									
			泥水管理 ろ過特性									
		土圧式	切羽土圧管理	記述なし	作泥材の配合指定と粘度（5000cp）	※土圧式を対象とせず	※土圧式を対象とせず		※土圧式を対象とせず			
			添加剤注入									
	掘削土量管理	泥水式	送排泥流量	掘削土量の集中管理	泥水式を対象とせず	管理値の設定	掘削土量の集中管理		掘削土量の集中管理	掘削土量の集中管理		
			送排泥密度									
			土質試験結果									
			その他									
		土圧式	切羽部計測ないし後方計測		管理目標と実掘削土量の把握	※土圧式を対象とせず	※土圧式を対象とせず		※土圧式を対象とせず			
	シールド機		泥水式＆土圧式	掘進速度の適正維持	集中制御システムの設置	集中制御システムによる常時監視の実施	集中制御システムによる常時監視の実施		集中制御システムによる常時監視の実施	集中制御システムによる常時監視の実施		
線形管理	シールド機の位置・姿勢		小口径	1回／1日の精密測量と蛇行量の報告	掘進管理方法の計画	100mm 以内	50mm 以内	鉛直 50mm，水平 100mm 以内	100mm 以内	トンネルの使用目的によって指定 例えば 道路・鉄道：50mm 以内 その他：100mm 以内	指定管理基準に対する報告書の提出指定	報告書の提出
			大口径（基本的に鉄道，道路が対象となる）									
裏込め管理	注入状況		注入圧	圧力管理の実施	適正管理の実施	適正管理の実施	適正管理の実施	圧力指定	適正管理の実施	適正管理の実施	報告書の提出指定	報告書の提出
			注入量									
	注入材料		コンシステンシー	記述なし	適正配合	標準配合の指定	標準配合の指定	注入材の試験の実施と品質確保	材料，配合の選定	注入材の試験の実施と品質確保	試験の実施と報告書の提出指定	試験の実施と報告書の提出
			ブリージング率									
			ゲルタイム									
			圧縮強度									
一次覆工	組立		真円度	記述なし	具体的記述なし	内空の測定実施	真円度の確保	内径／150 以内	真円度の確保	内径／150 以内	指定管理基準に対する報告書の提出指定	指定基準の管理と報告書の提出
			締め付けトルク	増し締めの実施		許容応力度の80%および60%	同左	トルク管理の実施	増し締めの実施	許容応力度の80%および60%		
	損傷		欠け，クラック	使用の禁止		使用の禁止	使用の禁止	設計的判断と対策の提示	使用の禁止	設計的判断と対策の提示	設計的判断と対策の要求	設計的判断と対策の提示
	防水		防水工 シール材	シール材の性能	防水材の管理	品質規格の指定	性能試験の実施	性能試験の実施	品質規格の指定	性能試験の実施	試験の実施と報告書の提出指定	試験の実施と報告書の提出
			漏水	記述なし	記述なし	記述なし	補修の実施	記述なし	補修の実施	補修の実施	補修計画書の提出指示	補修計画書の提出と実施
	位置		蛇行量，直角度	1回／1日の精密測量と蛇行量の報告	記述なし	100mm 以内	50mm 以内	鉛直 50mm，水平 100mm 以内	記述なし	線形管理に準拠	指定管理基準に対する報告書の提出指定	指定基準の管理報告書の提出

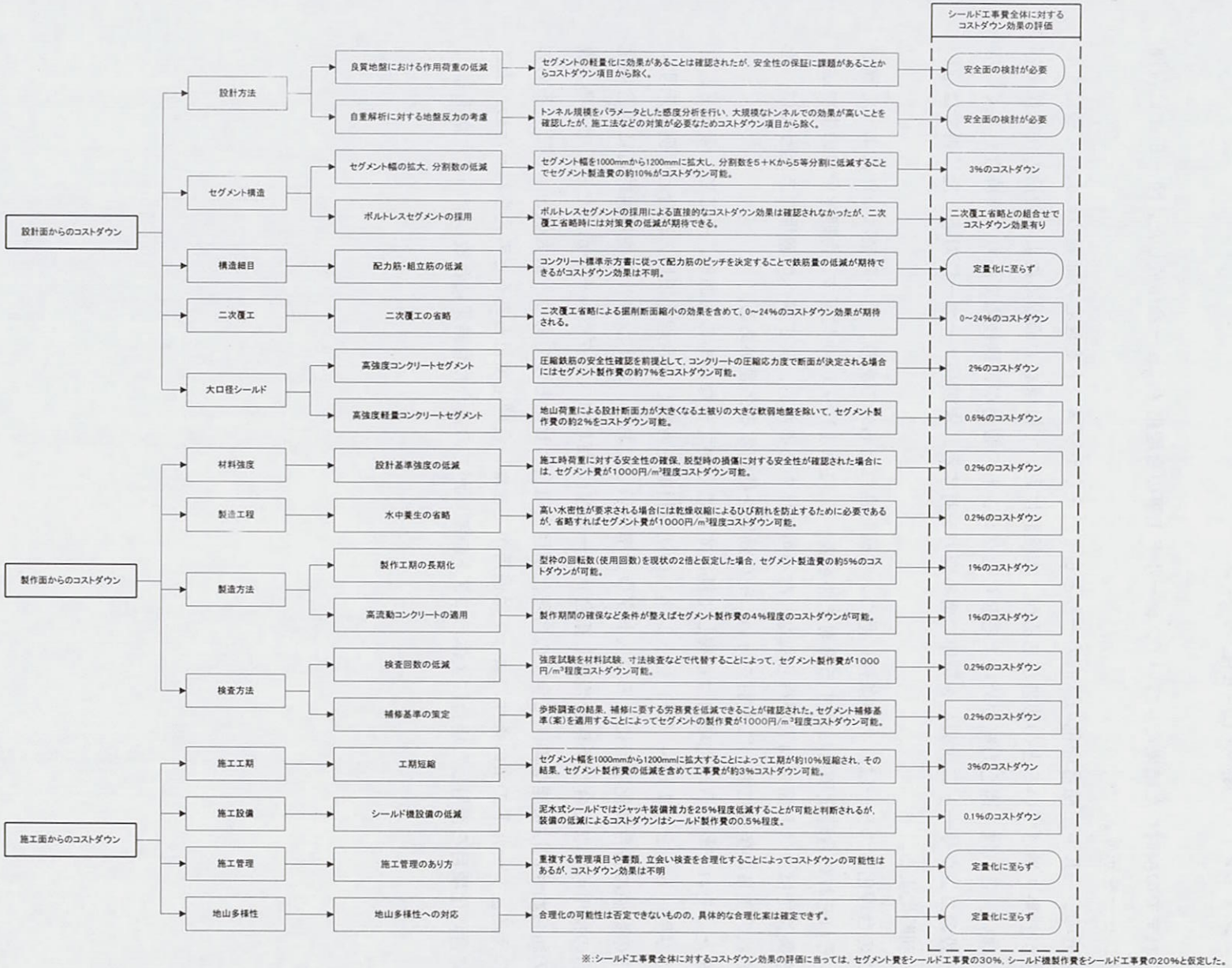
6．シールド工事の合理化メニュー

これまでの検討した結果に基づいて，シールド工事の合理化メニューを作成した。図－6.1に合理化メニューを示す。

最近のシールド工法合理化の動向の一つとして，ＲＣセグメントを遠心力締固めによって製造する工法が効果を挙げているとの報告があるが，本検討においては遠心力締固めによる製造方法は採上げていない。これは，遠心力締固めによるＲＣセグメントの製造が特殊技術であり，特許性も高く，広く一般のコンクリート二次製品を製作できる能力を有する二次製品メーカーに対応した技術ではないとの判断による。

この合理化メニューは，ある条件に基づいて検討されたものであり，その効果は条件によって異なる。それぞれの合理化項目に関する検討条件を表－6．1（1）～（3）に示す。合理化項目の中には，ある条件ではコスト縮減効果が得られなくなる可能性もあるため，実工事への適用にあたっては，それぞれの工事の条件において検討を行い，その効果を確認する必要がある。

また，それぞれの合理化項目は重複して採用することができないものもある。そこで，表－6．2および図―6．2（1）～（3）にトンネルの使用目的を考慮した合理化項目の組合わせ例を示す。表中の数値は各合理化項目によるコストダウン率を示しており、各トンネルの使用目的毎に各合理化項目の採用可能な組合せ条件を整理し組合せケースNo．毎にコストダウン率を示したものである。表中の組合わせ例は可能な範囲で全ての合理化項目を組合わせたものであり，最大値を示しているものといえる。シールド工事の条件によっては適用ができない合理化項目もあると考えられるため，実工事に合理化項目を適用した場合に全体のコスト縮減率がこの組合わせ結果に合致しないことがある。



この検討結果は条件によって変化するものであり，実施に当っては精査を必要とする。なお，本検討の前提条件はそれぞれの項目に示してある。

図－6.1　検討結果に基づくシールド工事のコストダウンメニュー

表－6.1（1） 検討における前提条件

検討項目			前提条件	採用にあたっての課題
設計面からのコストダウン	セグメント構造	セグメント幅の拡大，分割数の低減	・ セグメント内径 4m，良質地盤における土被り 20m のトンネルを対象とし，セグメント幅を 1,000mm から 1,200mm に拡大し，分割数を 6 分割から 5 分割に低減した試算結果である。	・ 等分割セグメントを採用する場合，継手コーナー部が鋭角となるため，製作時，組立時の損傷に対する検討が必要である。
		ボルトレスセグメントの採用	・ コスト試算はセグメント内径 4m，良質地盤における土被り 20m のトンネルを対象とした試算結果である。 ・ コスト試算のセグメント構造はほぞ付きセグメントを対象としている。	・ 自立性の乏しい軟弱地盤などにおいては，セグメントリングの変形量が大きくなったり，地震時にリング継手の目開き量が大きくなることが懸念されることから，適用にあたっては十分な注意が必要である。
	構造細目	配力筋，組立筋の低減	・ 鉄筋かご運搬時の形状保持などについては検討の対象としていない。	・ 配力筋や組立筋の間隔はひび割れの発生状況に影響を与えると考えられることから，耐久性の確保を考慮したひび割れ制御について確認する必要がある。
	大口径シールド	高強度ｺﾝｸﾘｰﾄｾｸﾞﾒﾝﾄの適用	・ 大口径シールドトンネルについて検討した結果である。 ・ その効果が期待できるのは，圧縮側コンクリートの応力度によって断面が決定されるような条件である。	・ 圧縮鉄筋の照査方法を実験等によって確認する必要がある。
		高強度軽量ｺﾝｸﾘｰﾄｾｸﾞﾒﾝﾄの適用	・ 大口径シールドトンネルについて検討した結果である。 ・ 地山荷重による断面力の比率が大きくなる土被りの大きな軟弱地盤においては効果が期待できない。 ・ 軸力が卓越する良質地盤において最も効果が大きい。	・ 軽量コンクリートのせん断強度，耐久性等について確認が必要である。
	二次覆工	二次覆工の省略	・ 耐久性向上を目的としたひび割れ制御については考慮していない。 ・ コスト算定に当たって，二次覆工施工費，一次覆工施工費は，それぞれコンクリート m^3 あたり，掘削 m^3 あたりの概算値であり，シールド工事に関する直接工事費を対象としている。 ・ コストには二次覆工省略によるコスト縮減効果，二次覆工省略に伴う対策費の増加を含んでいる。 ・ 下水道シールドトンネルにおいて汚水，合流は，現状の技術で二次覆工省略時の耐久性を保証できないことから参考値としている。	・ 二次覆工を省略したシールドトンネルの耐久性についてはその安全性を確認するための実績が無い。このため，今後増加する実績に基づいて得られた知見を適切に反映する必要がある。

表－６．１（２）検討における前提条件

検討項目			前提条件	採用にあたっての課題
製作面からのコストダウン	材料強度	設計基準強度の低減	・ 脱型時の損傷に対する検討は，試作などによって確認することを前提としている。	・ 脱型時の安全性を確保するために必要な最低脱型強度が明確となっていないため，自作などによる確認が必要である。
	製造工程	水中養生の省略	・ 水中養生を低減した場合の影響について定性的な評価を行ったものである。 ・ コスト試算は水中養生設備の減価償却費を含まない。	
	製造方法	製作工期の長期化	・ 発注方式などの問題は考慮せず，単純に製作工期を２倍とした場合の評価を行ったものである。	・ 発注方式を含めた検討が必要である。
		高流動コンクリートの適用	・ 工場間接費は現状と同様の直工費率としている。 ・ コスト算出に当たっての加工費はメーカーヒアリングに基づいた評価である。 ・ 型枠費はメーカーヒアリングに基づいた推定値である。 ・ 製作工期を従来の１．５倍とした。 ・ 対象としたセグメントはセグメント外径 4.3m，幅 1,000mm，製作リング数 1,000 リングである。	
	検査方法	検査回数の低減	・ 重複していると考えられる検査項目を低減することを前提としている。 ・ 現状の品質管理水準が守られることを前提としている。 ・ コスト試算には立会などに要する管理費は含んでいない。	・ 品質ならびに安全性の保証をどのように確保するかが問題となる。
		補修基準の策定	・ セグメントの補修に要する労務費を低減することを前提としている。 ・ 外観が現状より低下することを認めている。 ・ 全ての発注者が同様の基準によって管理することを前提とする必要がある。	・ 止水性や耐久性への影響が未確認である。

表－６．１（３） 検討における前提条件

検討項目			前提条件	採用にあたっての課題
施工面からのコストダウン	施工工期	工期短縮	・ セグメント幅拡大によって組立回数が低減されることによる工期短縮のみを評価対象としている。 ・ コスト試算には，立坑構築費を含んでいない。 ・ セグメント内径 4m，施工延長 1,200m，平面線形は直線，縦断線形は緩勾配としている。このため，急曲線や急勾配を含むトンネルにおいてはその効果を別途検討する必要がある。 ・ セグメント幅は 1,000mm を 1,200mm に拡大した場合を対象としている。	・ 従来の歩掛と同水準の評価を行うためには実績の蓄積が必要である。
	施工設備	シールド機設備の低減	・ 11 工事事例による評価である。 ・ 対象工事のシールド径は２～５ｍクラスである。 ・ コスト評価はメーカー見積による。	・ データ数が限定されており，今後のデータ蓄積が必要である。
	施工管理	施工管理のあり方	・ 重複していると考えられる管理項目について低減の可能性を検討した。	
	地山多様性	地山多様性への対応	・ 地山多様性への対応の可能性を示した。	

表－6.2　合理化項目の組合わせ例

トンネルの使用目的			コストダウン率	下水道雨水管路								下水道汚水・合流管路								下水道汚水・合流管路（参考）				共同溝								道　路											
合理化項目			(%)																																									
設計面	設計方法	良質地盤における作用荷重の低減	－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－	
		自重解析に対する地盤反力の考慮	－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－	
	セグメント構造	セグメント幅の拡大、分割数の低減	3	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0	○	3.0
		ボルトレスセグメントの採用	－		－	○	－		－	○	－		－		－		－		－	○	－	○	－		－	○	－		－	○	－		－	○	－		－	○	－		－	○	－
	構造細目	配力筋・組立筋の低減	－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－	
	二次覆工	二次覆工の省略		○	14.0	○	24.0	○	14.0	○	24.0		－		－		－		－	○	10.0	○	10.0	○	18.0	○	20.0	○	18.0	○	20.0	○	5.0	○	6.0	○	5.0	○	6.0	○	5.0	○	6.0
	大口径シールド	高強度コンクリートの採用	2		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－	○	2.0	○	2.0		－		－
		高強度軽量コンクリートの採用	0.6		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－	○	0.6	○	0.6
製作面	材料強度	設計基準強度の低減	0.2	○	0.2	○	0.2		－		－	○	0.2	○	0.2		－		－	○	0.2		－	○	0.2	○	0.2		－		－	○	0.2	○	0.2		－		－		－		－	
	製造工程	水中養生の省略	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2
	製造方法	製作工期の長期化	1	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0	○	1.0
		高流動コンクリートの適用	1		－		－	○	1.0	○	1.0		－		－	○	1.0	○	1.0		－	○	1.0		－		－	○	1.0	○	1.0		－		－	○	1.0	○	1.0		－		－		－
	検査方法	検査回数の低減	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2
		補修基準の策定	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2	○	0.2
施工面	施工工期	工期短縮	2	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0	○	2.0
	施工設備	シールド機設備の低減	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1	○	0.1
	施工管理	施工管理のあり方	－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－	
	地山多様性	地山多様性への対応	－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－		－	
組合わせによるコストダウン率(%)				20.9		30.9		21.7		31.7		6.9		6.9		7.7		7.7		16.9		17.7		24.9		26.9		25.7		27.7		11.9		12.9		12.7		13.7		13.7		14.7		12.3		13.3	
組合わせケースNo.				CASE-1		CASE-2		CASE-3		CASE-4		CASE-5		CASE-6		CASE-7		CASE-8		CASE-2		CASE-4		CASE-1		CASE-2		CASE-3		CASE-4		CASE-1		CASE-2		CASE-3		CASE-4		CASE-9		CASE-10		CASE-11		CASE-12	

表の見方：表中の数値は各合理化項目によるコストダウン率を表す。表中には、各トンネル用途毎に各合理化項目の採用可能な組み合わせ条件として整理し、組み合わせケースNo.に対応した組み合わせによるコストダウン率を示した。

※1重複できない合理化項目

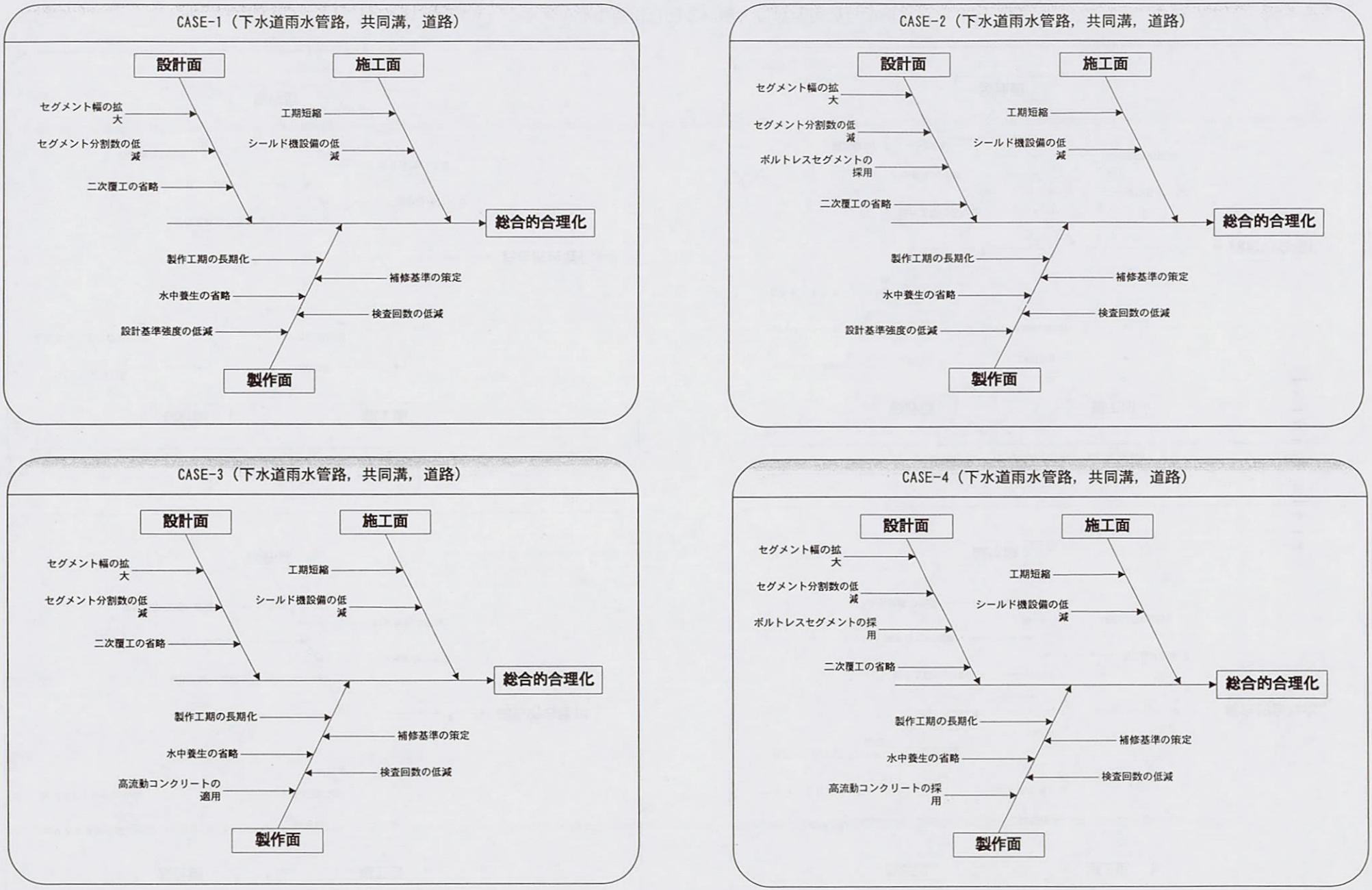
①「設計基準強度の低減」と「高流動コンクリートの適用」……現在、使用している高流動コンクリートの圧縮強度は非常に高くなっており、設計基準強度に対する管理は行われていないため、重複できない。

②「高強度あるいは高強度軽量コンクリートの採用」と「高流動コンクリートの適用」……設計配合が異なることから重複して適用できない。

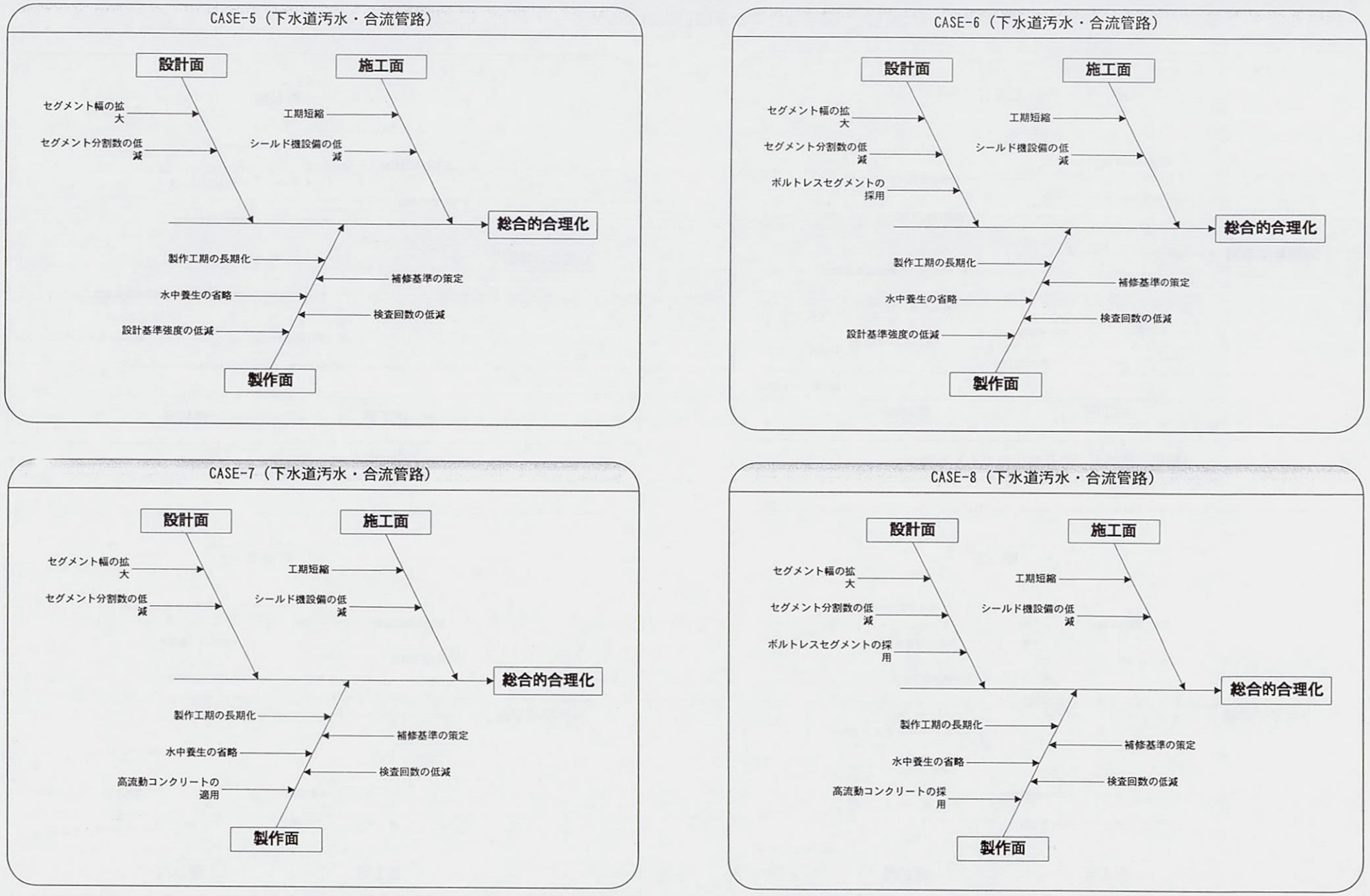
③「高強度軽量コンクリートの採用」と「設計基準強度の低減」……重複して適用すると、コンクリートのせん断強度を確保することができなくなる恐れがあり、現段階では重複できない。

※2「ボルトレスセグメントの採用」に関しては、その採用の有無によって「二次覆工の省略」でのコストダウン効果が大きくなることから、ケース分けしている。

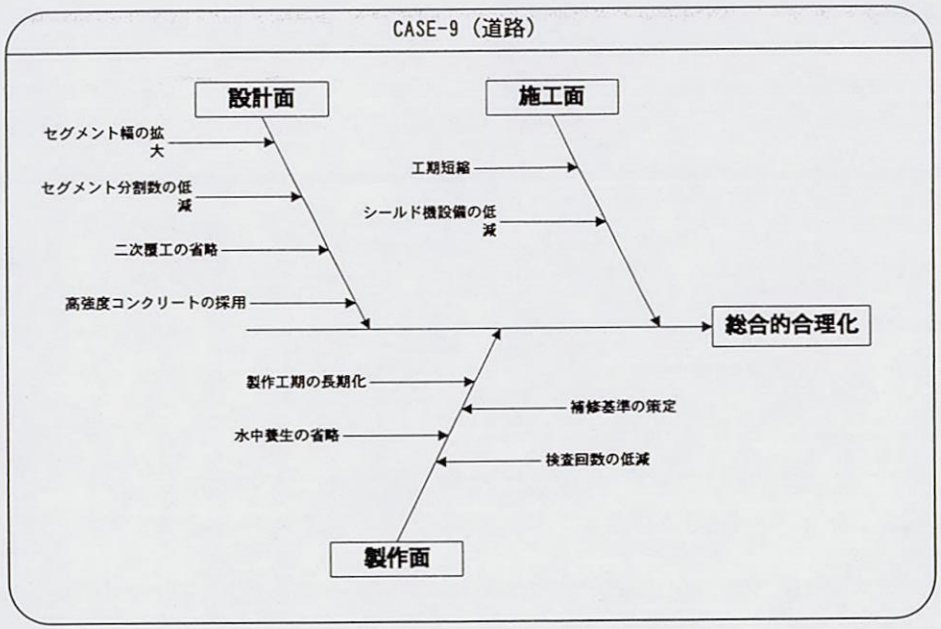
※3「二次覆工の省略」のコストダウン効果は、トンネル使用目的別に幅があるが、これは、二次覆工が果たしていた機能の代替する必要対策の違いである。

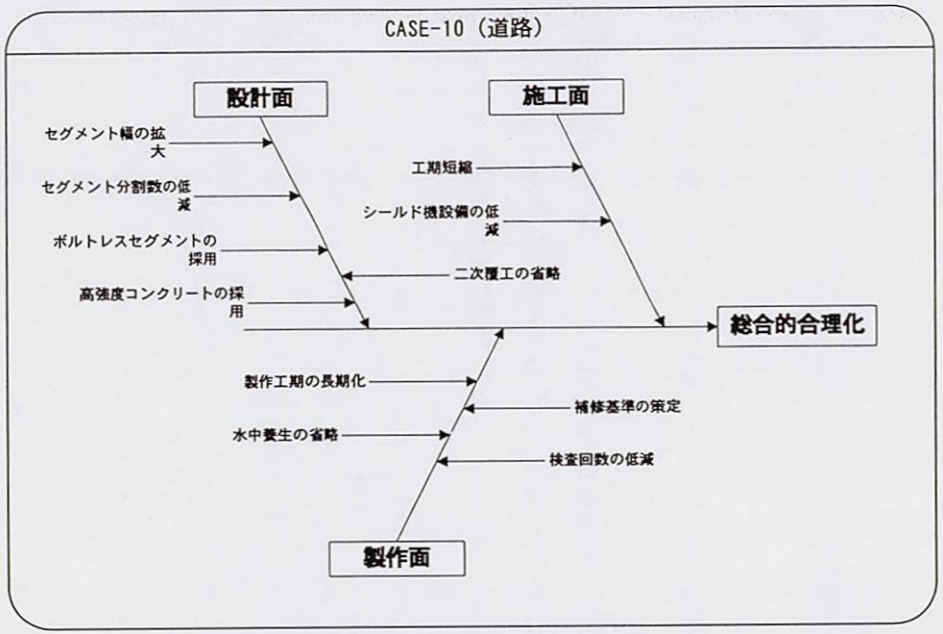


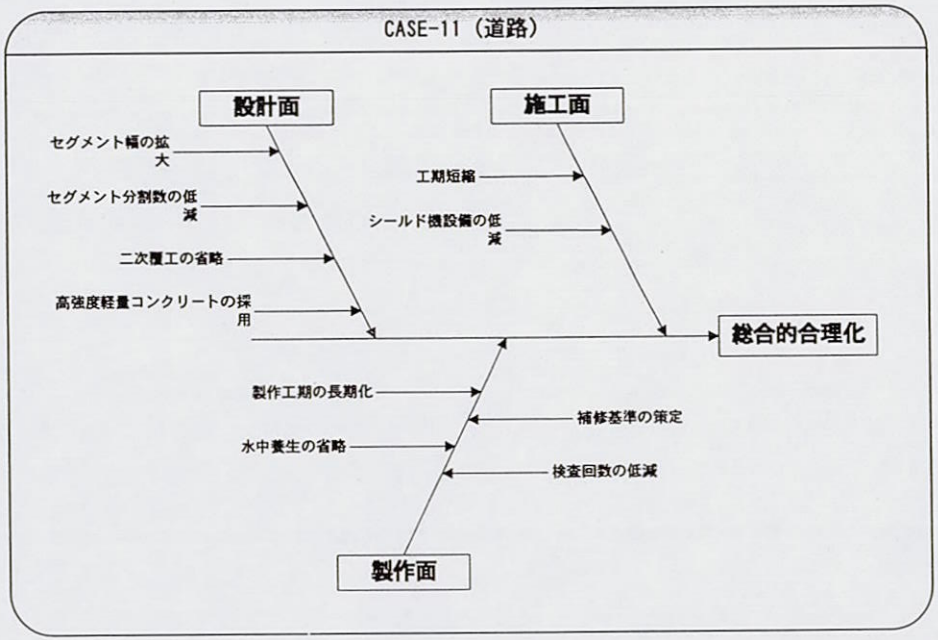
図－6．2（1）　トンネルの使用目的を考慮した合理化項目の組み合わせ例

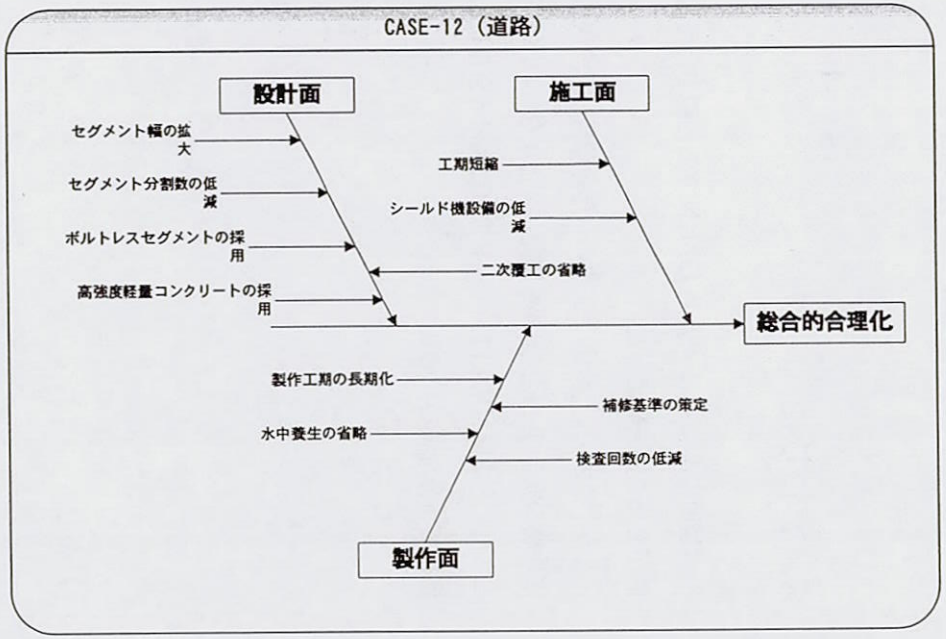


図－６．２（２）　トンネルの使用目的を考慮した合理化項目の組み合わせ例









図－６．２（３）　トンネルの使用目的を考慮した合理化項目の組み合わせ例

7. おわりに

本検討によって、シールド工事に関する各種の合理化を推進することによって最大約３０％のコスト縮減の可能性があることを確認した。

しかしながら、シールド工事の合理化項目には今後も継続して現場や実験等を通じてデータを収集し、トンネル構造物の安全性と経済効果を確認して行かなければならないものや、関係各機関の合意形成が必要なものがある。このため、本検討結果はシールド工事における合理化の方向性を示したものであり、実施にあたってはその適用も含めて十分な検討が必要である。

参考文献

1)(社)土木学会：「ﾄﾝﾈﾙ標準示方書（ｼｰﾙﾄﾞ編）・同解説」，昭和 61 年

2)(社)土木学会：「ﾄﾝﾈﾙ標準示方書（ｼｰﾙﾄﾞ工法編）・同解説」，平成 8 年

3)(社)土木学会・(社)日本下水道協会：「ｼｰﾙﾄﾞ工事用標準ｾｸﾞﾒﾝﾄ」，平成 2 年 4 月

4)東京電力株式会社：「地中線土木構造物設計ﾏﾆｭｱﾙ」，平成 9 年 9 月

5)(財)鉄道総合技術研究所：「鉄道構造物等設計標準・同解説ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ」，平成 9 年 7 月

6)帝都高速度交通営団：「ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ(ｾｸﾞﾒﾝﾄ)の設計指針（案)」，平成 10 年 10 月

7)帝都高速度交通営団：「鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄｾｸﾞﾒﾝﾄ製作示方書」，平成 12 年 8 月

8)東京都交通局：「東京都地下高速電車 12 号線ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ（覆工)」，平成 8 年 3 月

9)東京都交通局：「土木工事標準仕様書」，平成 10 年 4 月

10)名古屋市交通局：「ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ設計基準（案)」，平成 4 年 10 月

11)名古屋市交通局：「土木工事標準仕様書」，昭和 60 年 2 月

12)京都市交通局：「鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄｾｸﾞﾒﾝﾄ製作仕様書（案)」，昭和 60 年 2 月

13)仙台市交通局：「土木工事標準仕様書ｼｰﾙﾄﾞ編」，昭和 56 年 10 月

14)横浜市交通局：「横浜市高速鉄道 4 号線土木施設設計基準第 4 編ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ」，平成 12 年 10 月

15)横浜市交通局：「高速鉄道建設土木工事標準仕様書ｾｸﾞﾒﾝﾄ製作編」，平成 12 年 4 月

16)大阪市交通局：「大阪市高速電気軌道第 7 号線ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙ設計基準（案)」，平成 5 年 4 月

17)大阪市交通局：「地下工事標準仕様書」，平成 12 年

18)福岡市交通局：「福岡市高速鉄道 3 号線土木構造物設計仕様書」，平成 7 年 11 月

19)福岡市交通局：「鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄｾｸﾞﾒﾝﾄ製作仕様書」，平成 8 年 8 月

20)村上博智，小泉淳：「ｼｰﾙﾄﾞ工事用ｾｸﾞﾒﾝﾄのｾｸﾞﾒﾝﾄ継手の挙動について」，土木学会論文報告集第 296 号，1980 年 4 月

21)小泉淳，村上博智，西野健三：「ｼｰﾙﾄﾞﾄﾝﾈﾙの軸方向特性のﾓﾃﾞﾙ化について」、土木学会論文報告集第 394 号／Ⅲ-9、1988 年 6 月

22)F.Leonhardt und H.Reimann:" Betongelenke" ,Der Bauingenieur,41,1966

23)(財)先端建設技術ｾﾝﾀｰ：「先端建設技術・技術審査証明報告書ハニカムセグメント」，平成 9 年 3 月

24)(社)土木学会：「ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書設計編」，平成 8 年

25)(社)土木学会：「ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書」，昭和 55 年

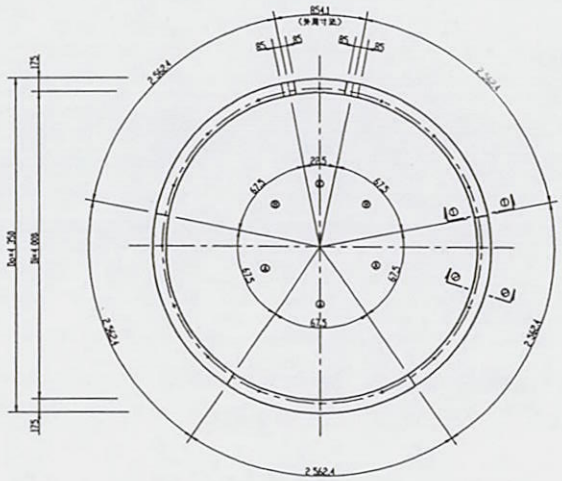
26)(社)日本下水道協会：「下水道用設計積算要領－管路施設（シールド工法）編－」，1998 年

添付資料

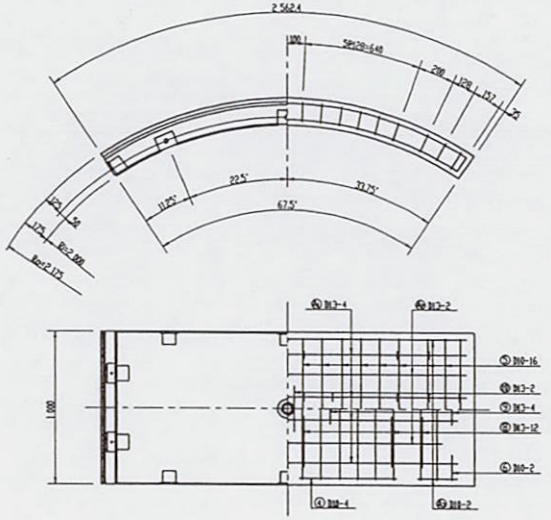
添付資料－１　セグメント図面集

従来設計Ⅰ（その1）

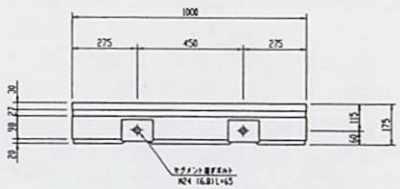
組　立　図



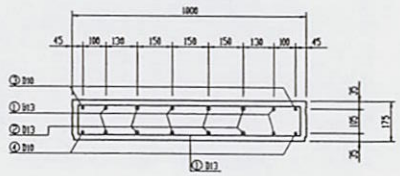
A型セグメント



①－①

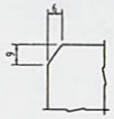


②－②　S=1/10

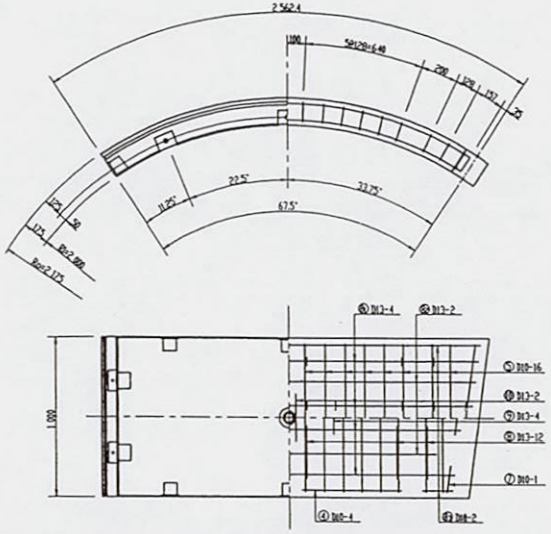


面取り詳細

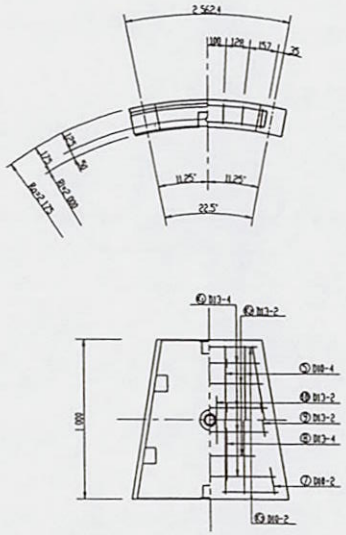
（リング両のみ）



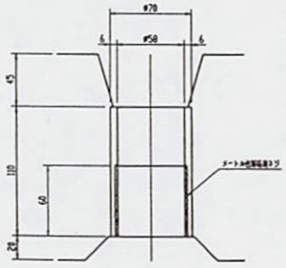
B型セグメント



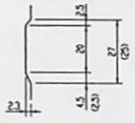
K型セグメント



グラウト孔詳細

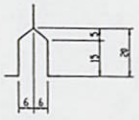


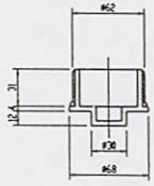
シール溝詳細





コーキング溝詳細

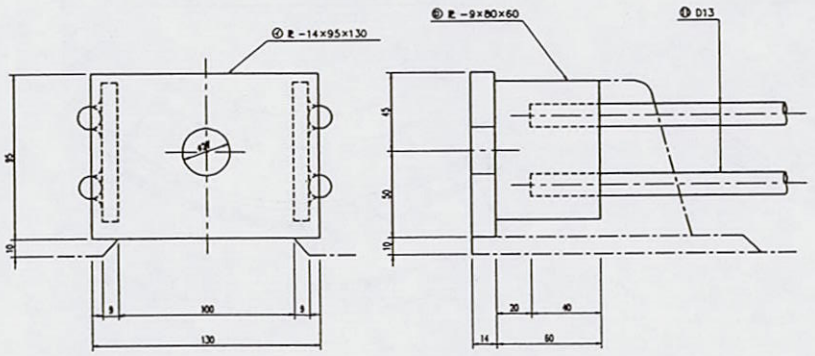


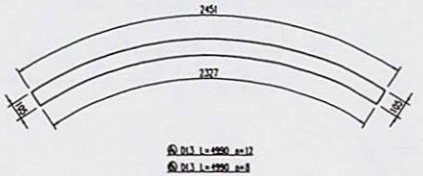


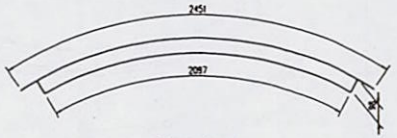
単位：mm

従来設計Ⅰ（その2）

セグメント間継手部

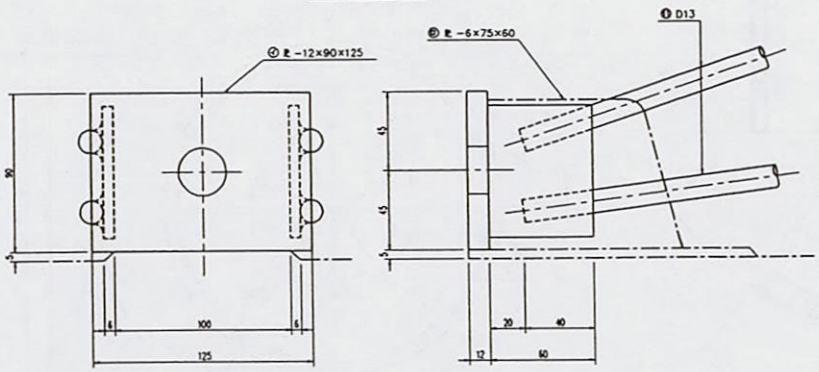


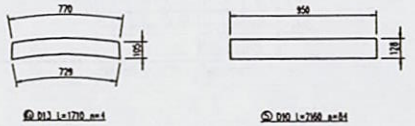


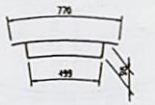


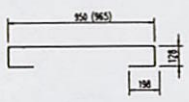


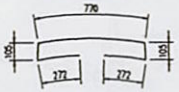
リング間継手部

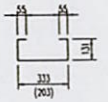


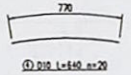












材料表

名称	記号	寸法mm	重量kg/m	本数	重量kg	備考
A 1	D13	4990	4.965	12	59.6	SD345
2	〃	4750	4.726	6	28.4	〃
3	D10	3230	1.809	6	10.9	SD295
B 1	D13	4990	4.965	8	39.7	SD345
2	〃	4750	4.726	4	18.9	〃
3	D10	3230	1.809	4	7.2	SD295
K 1	D13	1710	1.701	4	6.8	SD345
2	〃	1470	1.463	2	2.9	〃
3	D10	1530	0.857	2	1.7	SD295
4	D10	640	0.358	20	7.2	SD295
5	〃	2160	1.210	84	101.6	〃
6	〃	1550	0.868	8	6.9	〃
7	〃	1620	0.907	4	3.6	〃
8	D13	710	0.706	64	45.2	〃
9	〃	580	0.577	22	12.7	〃
10	〃	440	0.438	12	5.3	〃
11	〃	200	0.199	224	44.6	〃
イ	t=14×95×130	1.357	24	32.6		
ロ	t= 9×80×60	0.339	48	16.3		
ハ	t=12×90×125	1.060	32	33.9		
ニ	t= 6×75×60	0.212	64	13.6		
ボルト	セグメント間 M24 L=65		12	(6.8)		
〃	リング間 M24 L=65		16	(6.8)		
グラウトーズ	φ70 t=60 L=110		6	STKM13A		

鉄筋重量 403.2 kg/Ring
鋼材重量 96.4 kg/Ring
コンクリート体積 2.295 m³/Ring

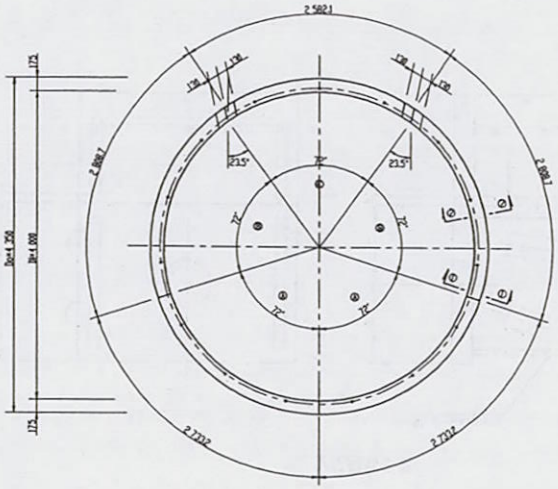




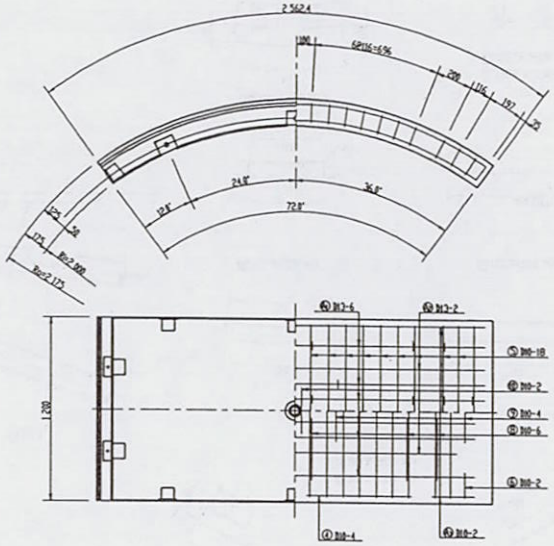
単位：mm

従来設計Ⅱ（その1）

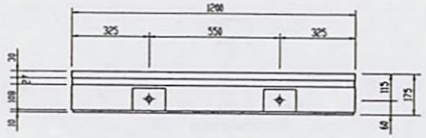
組　立　図



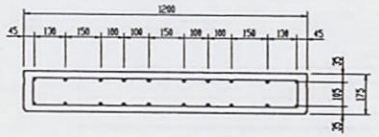
A型セグメント



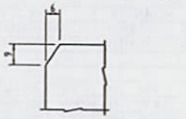
①－①



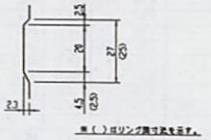
②－②



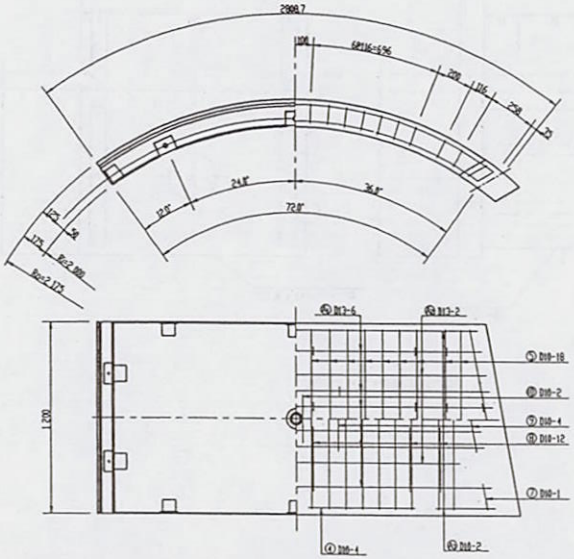
面取り詳細



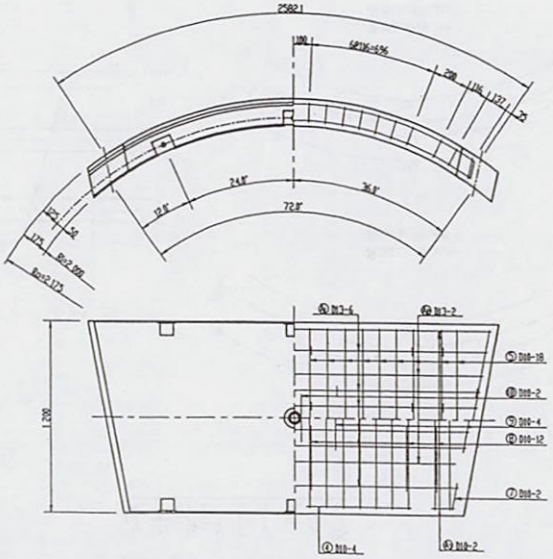
シール溝詳細



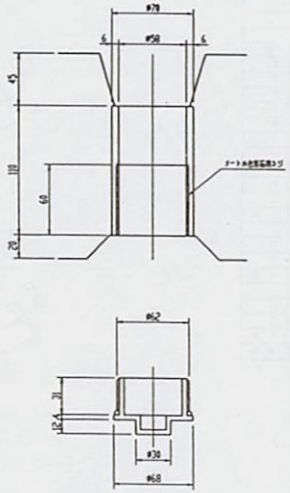
B型セグメント



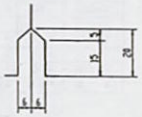
K型セグメント



グラウト孔詳細



コーキング溝詳細



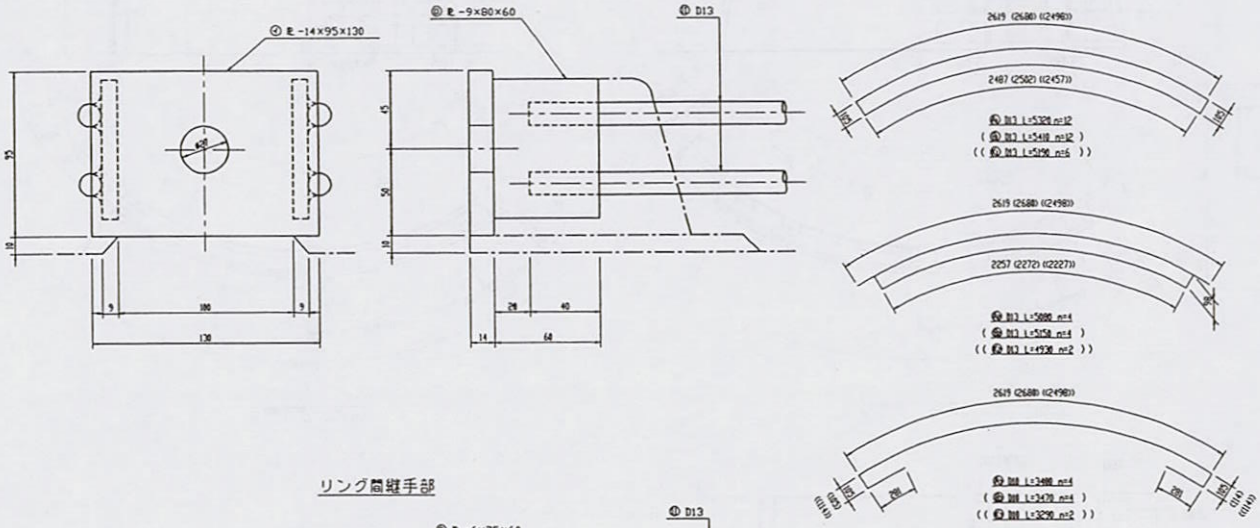
ネジ部



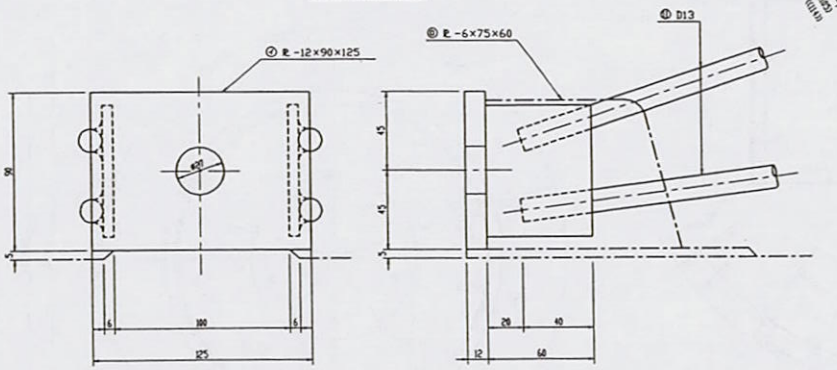
単位：mm

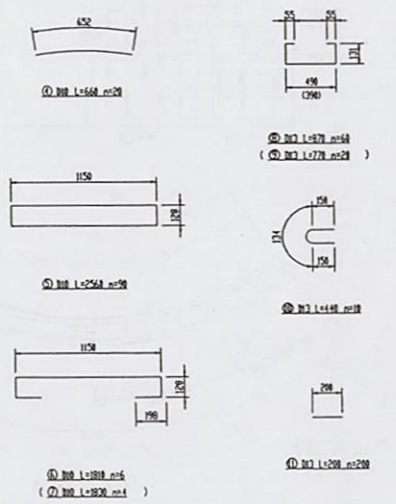
従来設計Ⅱ（その2）

セグメント間継手部



リング間継手部





材料表

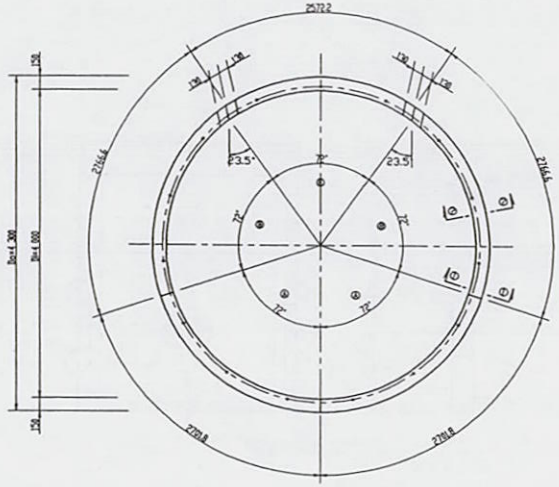
名称		径及び規格	寸法mm	単重kg/m	本数	重量kg	摘要
A	1	D13	5320	5.293	12	63.5	SD345
	2	〃	5080	5.055	4	20.2	〃
	3	D10	3400	1.904	4	7.6	SD295
B	1	D13	5410	5.383	12	64.6	SD345
	2	〃	5150	5.124	4	20.5	〃
	3	D10	3470	1.943	4	7.8	SD295
K	1	D13	5190	5.164	6	31.0	SD345
	2	〃	4930	4.905	2	9.8	〃
	3	D10	3290	1.842	2	3.7	SD295
	4	D10	660	0.370	20	7.4	SD295
	5	〃	2560	1.434	90	129.1	〃
	6	〃	1810	1.014	6	6.1	〃
	7	〃	1830	1.025	4	4.1	〃
	8	D13	870	0.866	60	52.0	〃
	9	〃	770	0.766	20	15.3	〃
	10	〃	440	0.438	10	4.4	〃
	11	〃	200	0.199	200	39.8	〃
イ		PL-14×95×130	1.357		20	27.1	
ロ		PL-9×80×60	0.339		40	13.6	
ハ		PL-12×90×125	1.060		30	31.8	
ニ		PL-6×75×60	0.212		60	12.7	
固定ボルト		セグメント用 M24 L=65			10	(6.8)	Fu=1.0×10³ N/mm²
〃		リング用 M24 L=65			15	(6.8)	Fu=1.0×10³ N/mm²
グラウト一式		φ70 t=60 L=110			5	STKM13A	

鉄筋重量	486.9 kg/Ring
鋼材重量	85.2 kg/Ring
コンクリート体積	2.754 m³/Ring

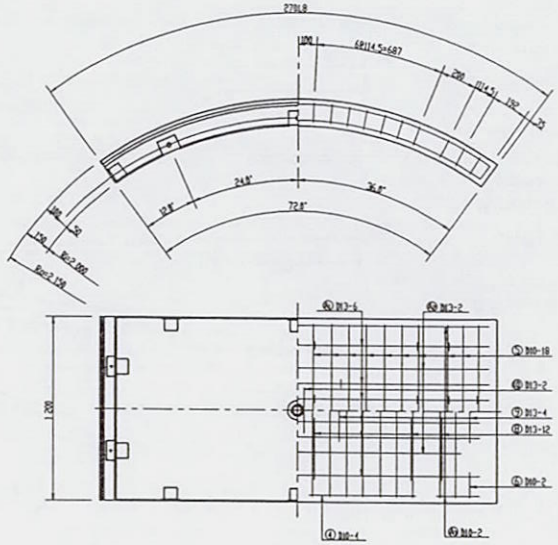
単位：mm

合理化案Ⅰ、Ⅱ（その1）

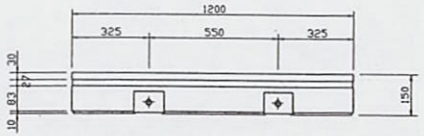
組　立　図



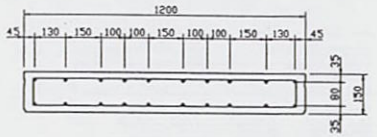
A型セグメント



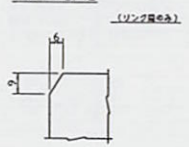
①－①



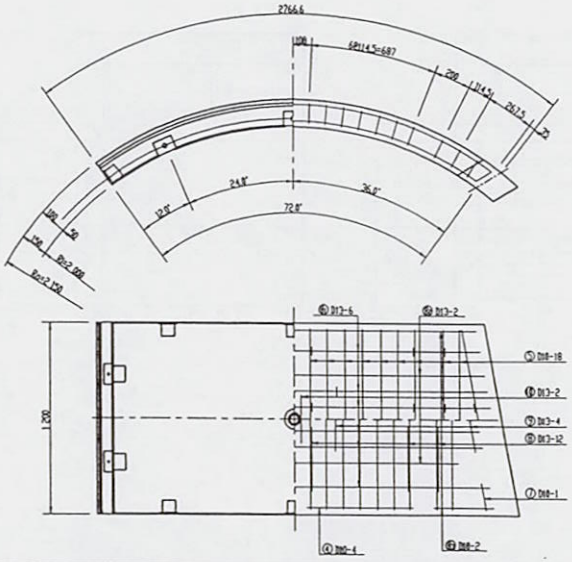
②－②



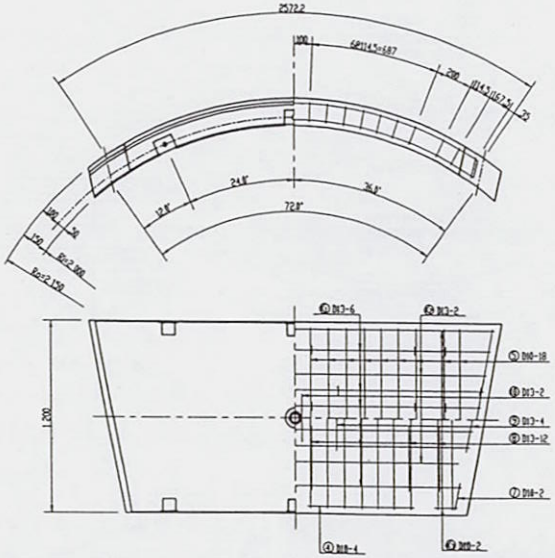
面取り詳細



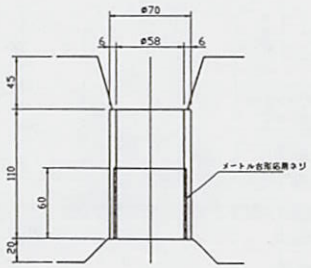
B型セグメント



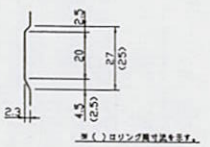
K型セグメント



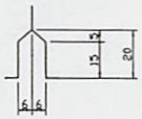
グラウト孔詳細



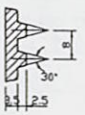
シール溝詳細



コーキング溝詳細



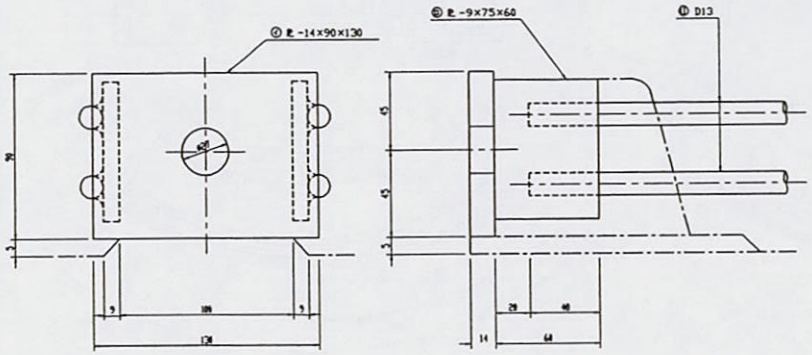
ネジ部

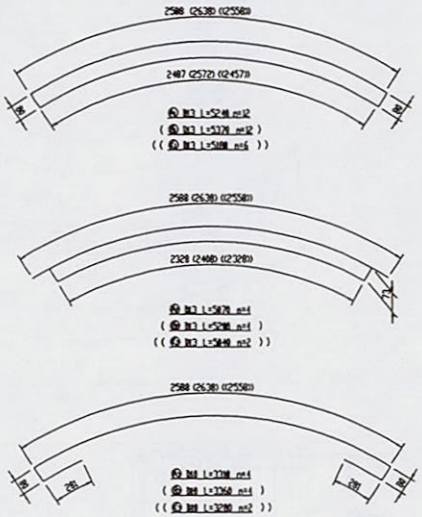


単位：mm

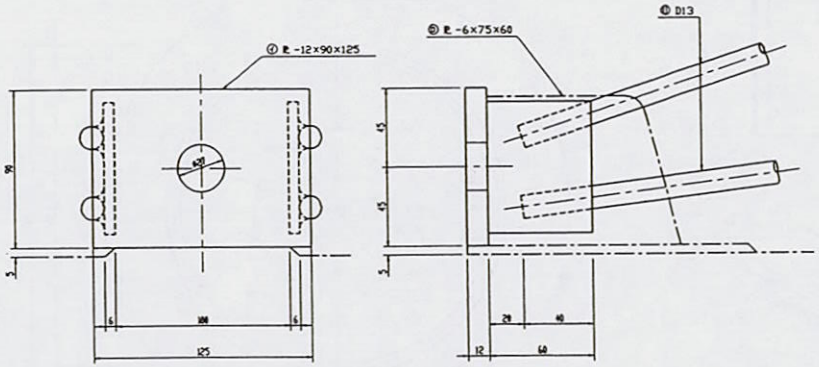
合理化案Ⅰ、Ⅱ（その2）

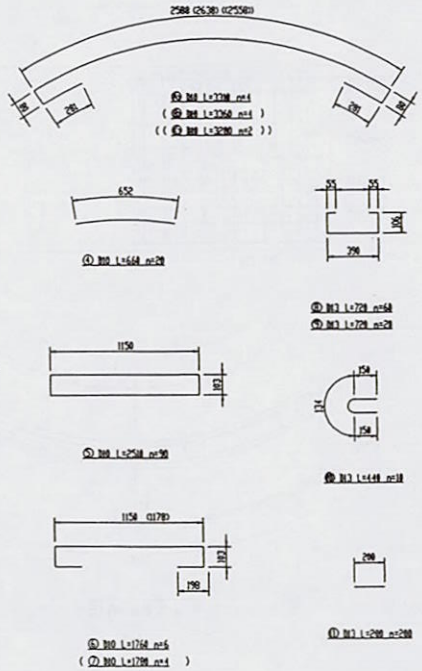
セグメント間継手部





リング間継手部





材料表

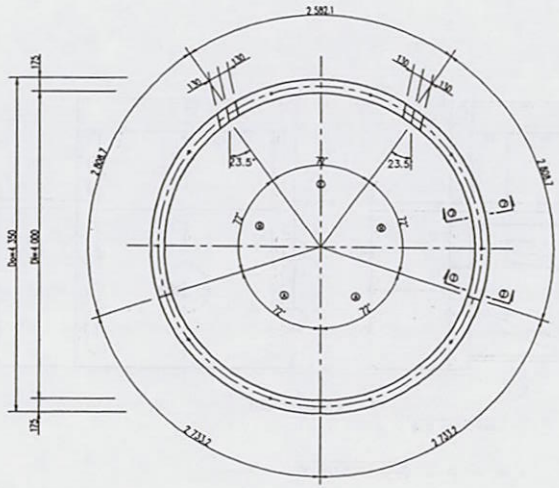
名称	記号	寸法	単重	本数	重量	備考
A	1	D13	5240	5.214	12	62.6	SD345
	2	〃	5070	5.045	4	20.2	〃
	3	D10	3310	1.854	4	7.4	SD295
B	1	D13	5370	5.343	12	64.1	SD345
	2	〃	5200	5.174	4	20.7	〃
	3	D10	3360	1.882	4	7.5	SD295
K	1	D13	5100	5.154	6	30.9	SD345
	2	〃	5040	5.015	2	10.0	〃
	3	D10	3280	1.837	2	3.7	SD295
	4	D10	660	0.370	20	7.4	SD295
	5	〃	2510	1.406	90	126.5	〃
	6	〃	1760	0.986	6	5.9	〃
	7	〃	1780	0.997	4	4.0	〃
	8	D13	720	0.716	60	43.0	〃
	9	〃	720	0.716	20	14.3	〃
	10	〃	440	0.438	10	4.4	〃
	11	〃	200	0.199	200	39.8	〃
イ		t-14×90×130	1.286	20	25.7	
ロ		t-9×75×60	0.318	40	12.7	
ハ		t-12×90×125	1.060	30	31.8	
ニ		t-6×75×60	0.212	60	12.7	
高ボルト		セグメント用 M24 L=65		10	(6.8)	
〃		リング用 M24 L=65		15	(6.8)	
ブラケット式		φ70 t=6.0 L=110		5	STKM13A	

鉄筋重量	472.4 kg/Ring
鋼材重量	82.92 kg/Ring
コンクリート体積	2.347 m³/Ring

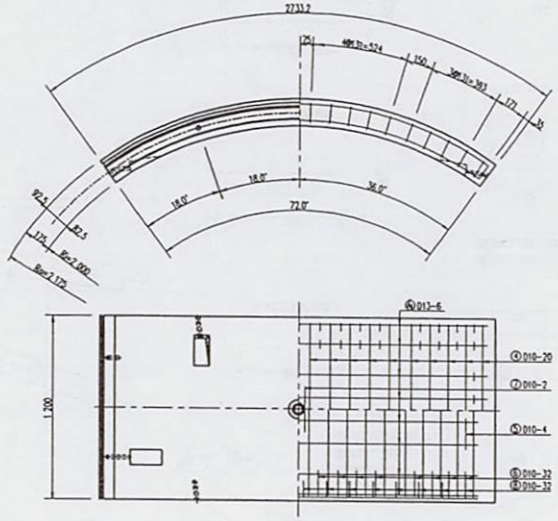
単位：mm

合理化案Ⅰ（その1）

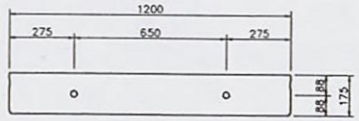
組　立　図



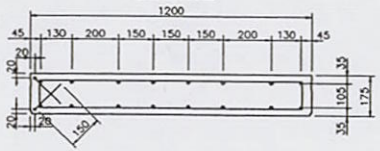
A型セグメント



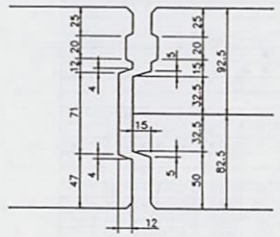
①－①



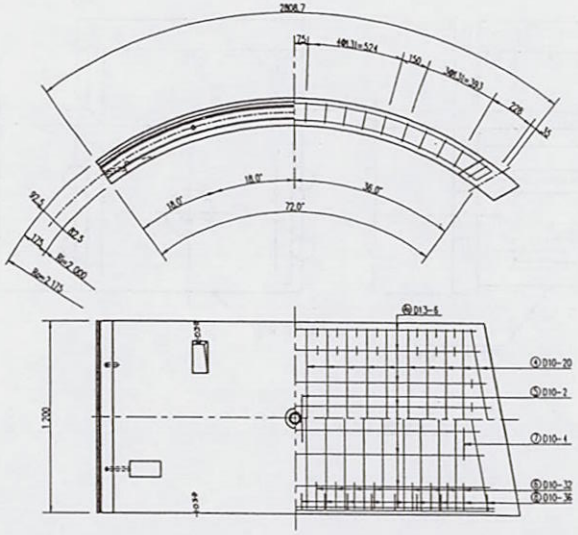
②－②



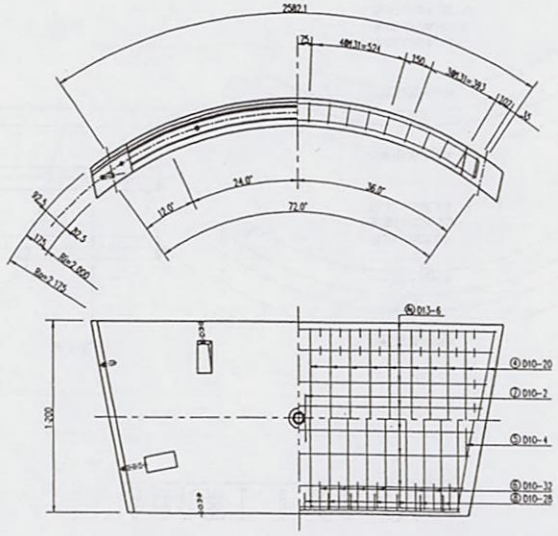
リング継手詳細図



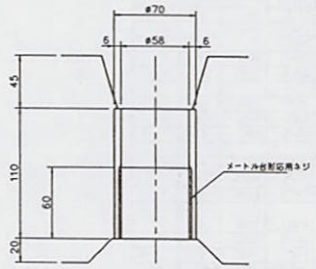
B型セグメント



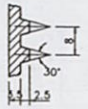
K型セグメント

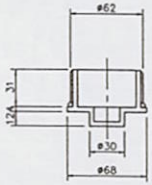


グラウト孔詳細



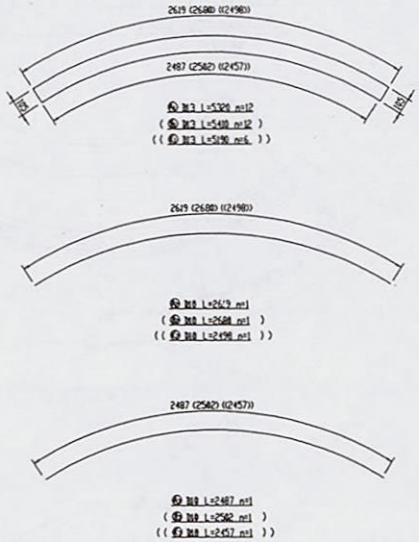
ネジ部

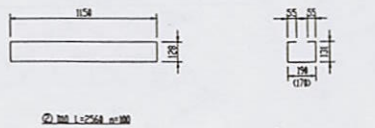




単位：mm

合理化案Ⅰ（その2）







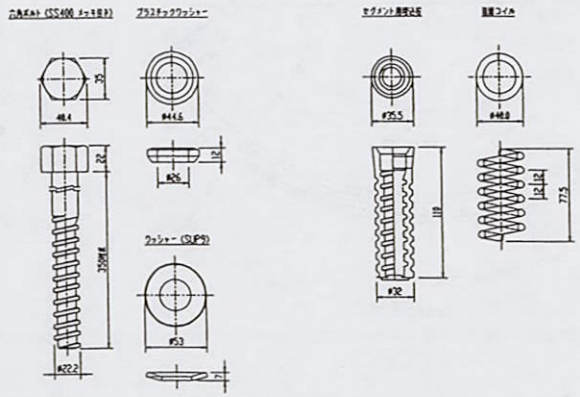
材料表

名 称		種及び寸法	寸法mm	単重kg/m	本数	重量kg	備 考
A	1	D13	5320	5.293	12	63.5	SD345
	2	D10	2620	1.467	2	2.9	SD295
	3	〃	2490	1.394	2	2.8	〃
B	1	D13	5410	5.383	12	64.6	SD345
	2	D10	2680	1.501	2	3.0	SD295
	3	〃	2510	1.406	2	2.8	〃
K	1	D13	5190	5.164	6	31.0	SD345
	2	D10	2500	1.400	1	1.4	SD295
	3	〃	2460	1.378	1	1.4	〃
	4	D10	2560	1.434	100	143.4	SD295
	5	D13	570	0.567	20	11.3	SD345
	6	〃	550	0.547	160	87.5	〃
	7	〃	440	0.438	10	4.4	〃
	8	D10	150	0.084	164	13.8	SD295

座ボルト	セグメント用	10	(4.6)
	リング用	10	(4.6)
インサート	セグメント用	10	
〃	リング用	10	
グラウトー丈	φ70 t=6.0 L=110	5	STKM13A

鉄筋重量	433.8 kg/Ring
コンクリート体積	2.754 ㎥/Ring

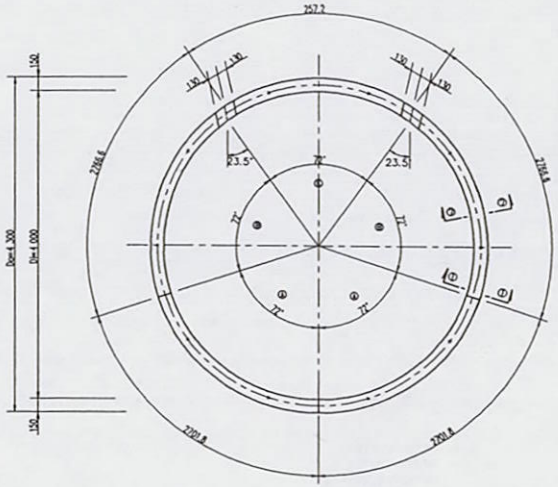
堤手ボルト詳細図（参考図）



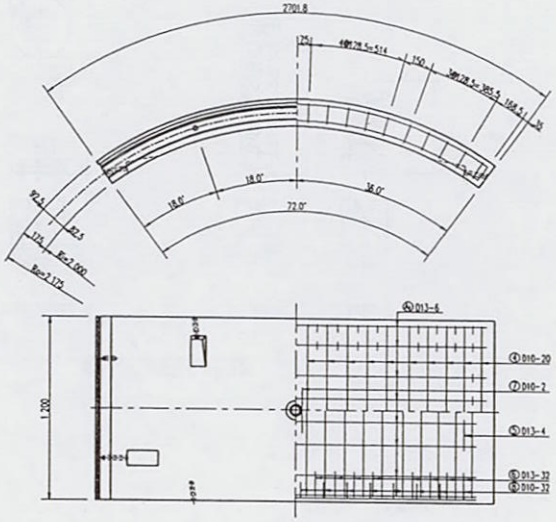
単位：mm

合理化案Ⅳ(その1)

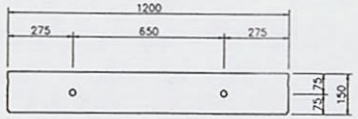
組　立　図



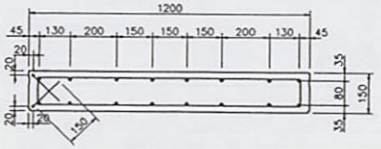
A型セグメント



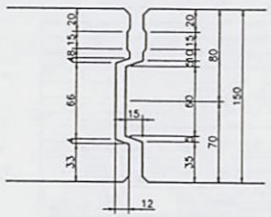
①－①



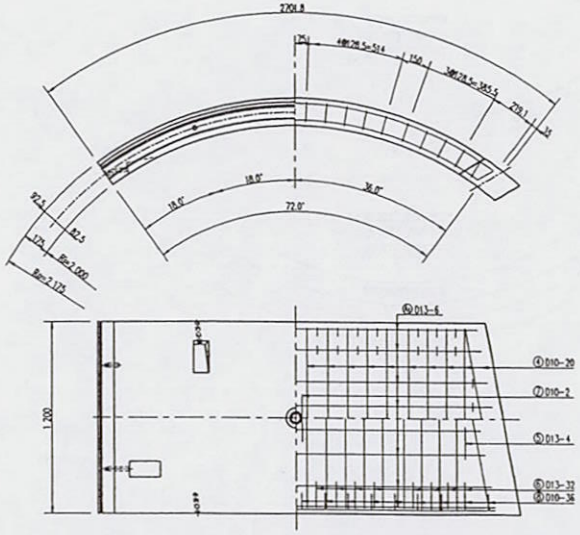
②－②



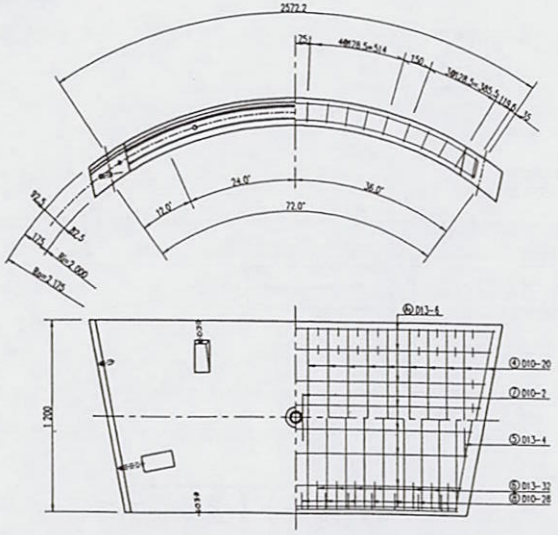
リング継手詳細図



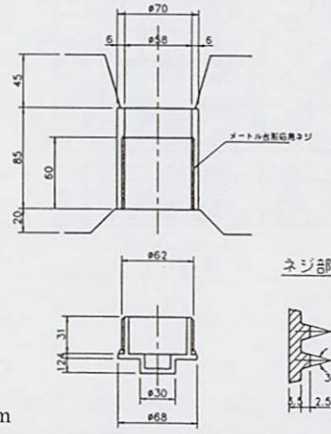
B型セグメント



K型セグメント

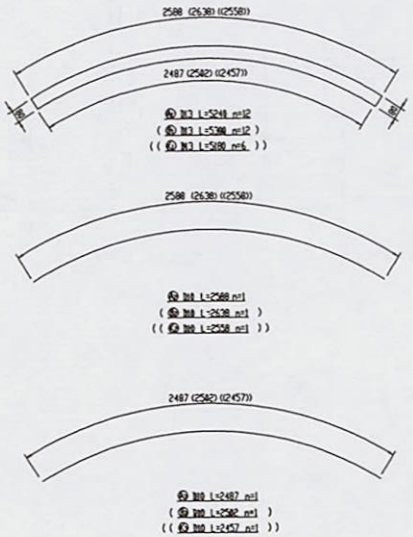


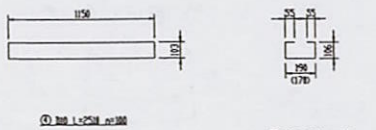
グラウト孔詳細図



単位：mm

合理化案Ⅳ（その2）









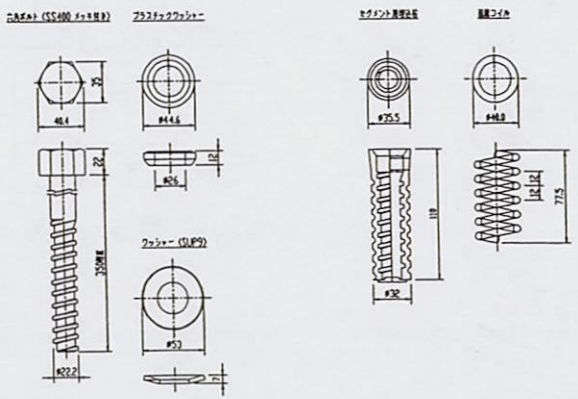
材料表

名称		径及び厚さ	寸法mm	単重kg/m	本数	重量kg	備考
A	1	D13	5240	5.214	12	62.6	SD345
	2	D10	2590	1.450	2	2.9	SD295
	3	D10	2490	1.394	2	2.8	〃
B	1	D13	5300	5.274	12	63.3	SD345
	2	D10	2640	1.478	2	3.0	SD295
	3	D10	2510	1.406	2	2.8	〃
K	1	D13	5180	5.154	6	30.9	SD345
	2	D10	2560	1.434	1	1.4	SD295
	3	D10	2460	1.378	1	1.4	〃
	4	D10	2510	1.406	100	140.6	SD295
	5	D13	520	0.517	20	10.3	SD345
	6	〃	500	0.498	160	79.7	〃
	7	〃	440	0.438	10	4.4	〃
	8	D10	150	0.084	164	13.8	SD295

座ボルト	セグメント用	10	(4.6)	ﾀｲﾌﾟｰ 3種 ｾﾝﾀｰﾎｰﾙ 4個
〃	リング用	10	(4.6)	ﾀｲﾌﾟｰ 3種 ｾﾝﾀｰﾎｰﾙ 4個
インサート	セグメント用	10		
	リング用	10		
グラウトー孔	φ70 t=60 L=110	5	STKM13A	

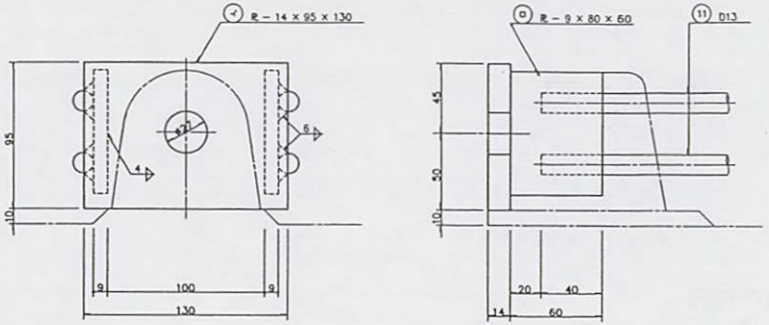
鉄筋重量	428.0 kg/Ring
コンクリート体積	2.347 m³/Ring

雄手ボルト詳細図（参考図）

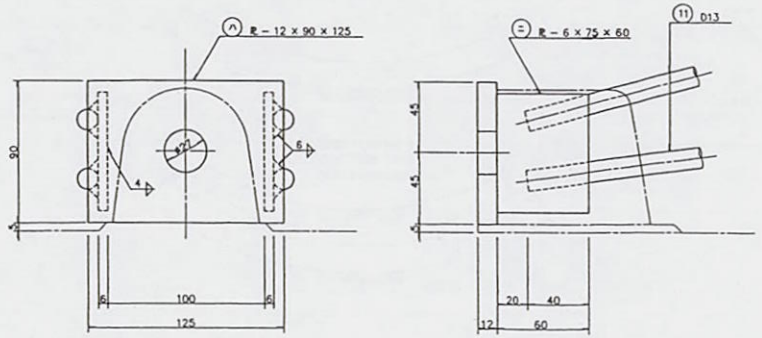


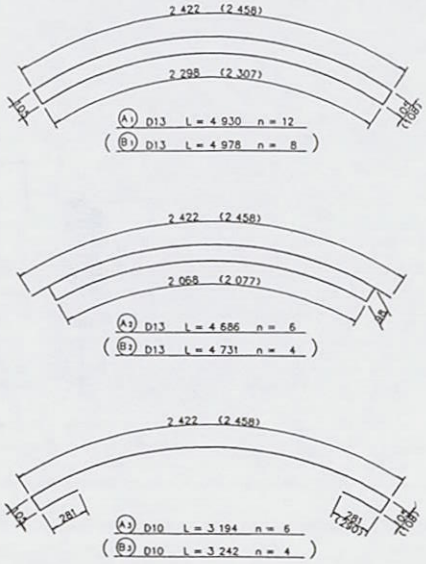
単位：mm

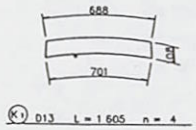
セグメント間継手部

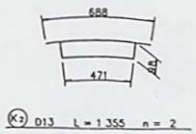


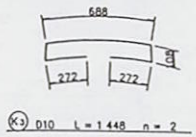
リング間継手部

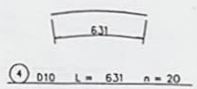


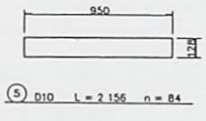


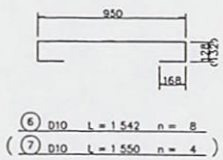


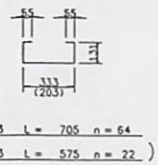


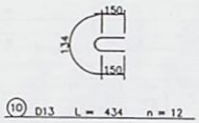


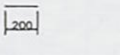












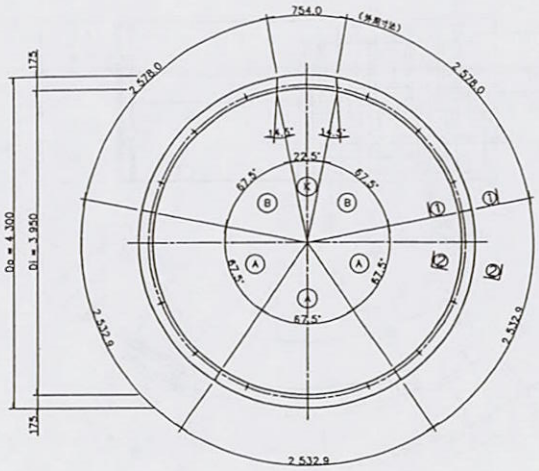
材料表

名称		寸法 (mm)	単重 (kg/本)	本数	重量 (kg)	備考
A1	D13	4 930	4.905	12	58.9	SD345
B1	〃	4 978	4.953	8	39.6	〃
K1	〃	1 605	1.597	4	6.4	〃
A2	〃	4 686	4.663	6	28.0	〃
B2	〃	4 731	4.707	4	18.8	〃
K2	〃	1 355	1.348	2	2.7	〃
A3	D10	3 194	1.789	6	10.7	SD295
B3	〃	3 242	1.816	4	7.3	〃
K3	〃	1 448	0.811	2	1.6	〃
④	〃	631	0.353	20	7.1	〃
⑤	〃	2 156	1.207	84	101.4	〃
⑥	〃	1 542	0.864	8	6.9	〃
⑦	〃	1 550	0.868	4	3.5	〃
⑧	D13	705	0.701	64	44.9	〃
⑨	〃	575	0.572	22	12.6	〃
⑩	〃	434	0.432	12	5.2	〃
⑪	〃	200	0.199	224	44.6	〃
㋑	R－14×95×130		1.357	24	32.6	
㋺	R－ 9×80× 60		0.339	48	16.3	
㋩	R－12×90×125		1.060	32	33.9	
㋥	R－ 6×75× 60		0.212	64	13.6	
ボルト	セグメント用 M24 L＝65			12	(6.8)	ブラシャー 18 3.2 40
〃	リング 用 M24 L＝65			16	(6.8)	ブラシャー 18 3.2 40
グラウト一式	φ70 t＝6 L＝110			6	STKM13A	

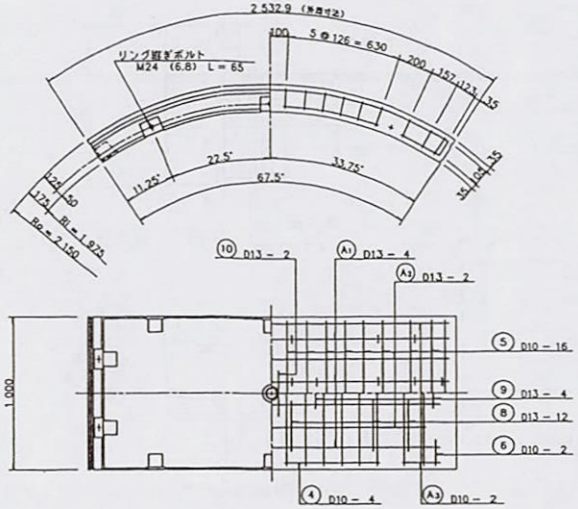
鉄筋重量	400.2 kg/リング
鋼材重量	96.4 kg/リング
コンクリート体積	2.268 m³/リング

単位：mm

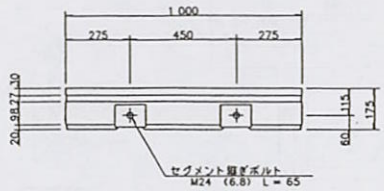
組立図



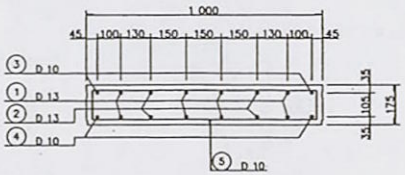
A型セグメント



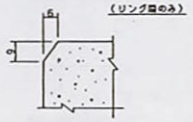
①−①



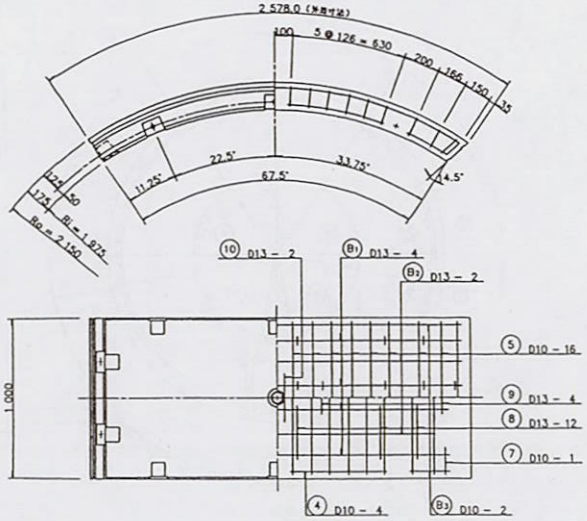
②−②



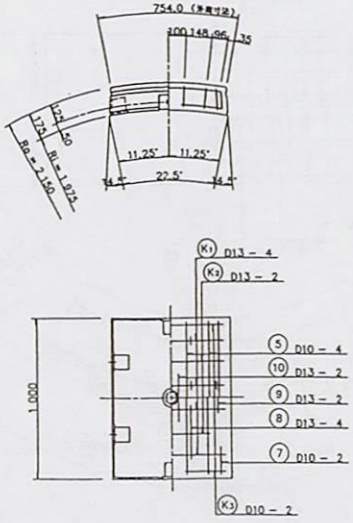
面取り詳細



B型セグメント

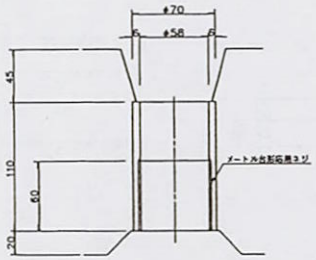


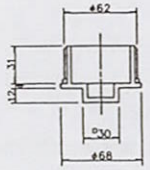
K型セグメント



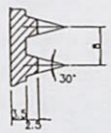
グラウト孔詳細

STKM13A

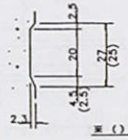




ネジ部

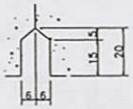


シール溝詳細



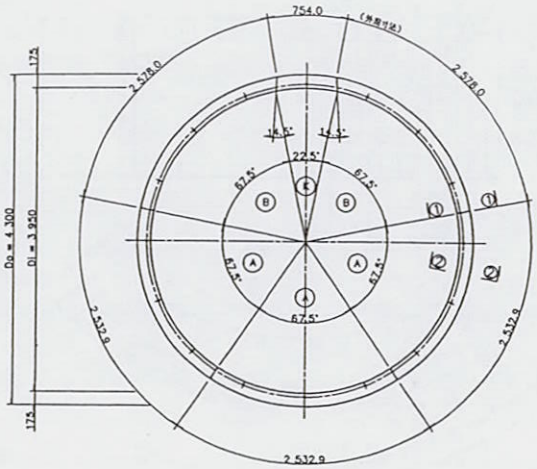
※ ( ) 内はリング締寸法を示す。

コーキング溝詳細

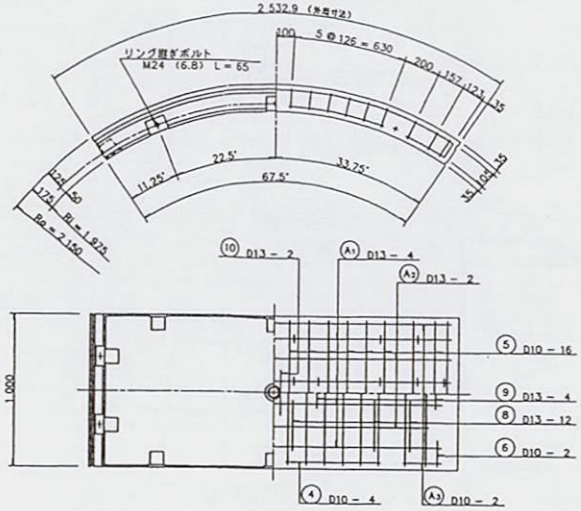


単位 : mm

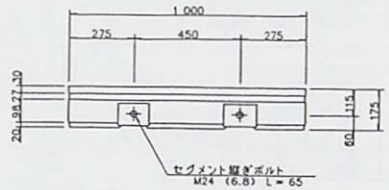
組立図



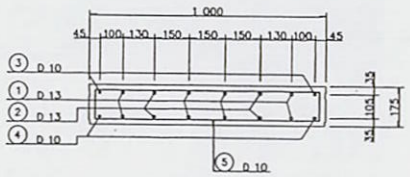
A型セグメント



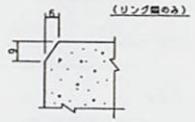
①−①



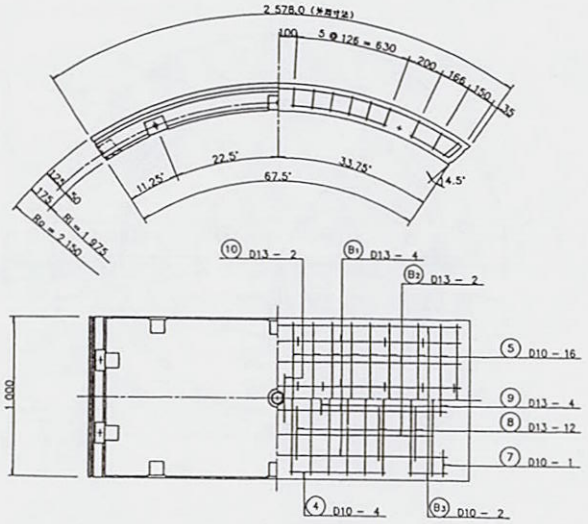
②−②



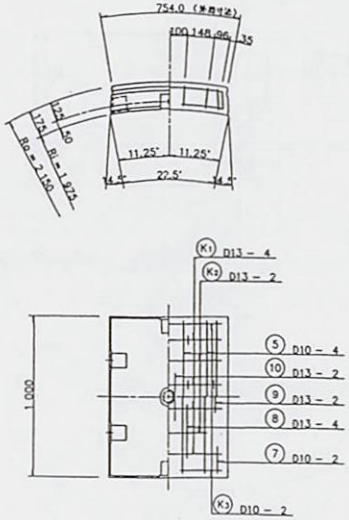
面取り詳細



B型セグメント

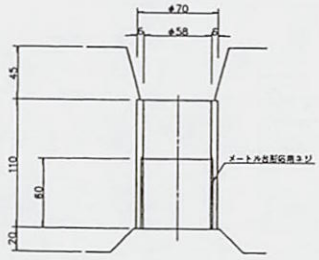


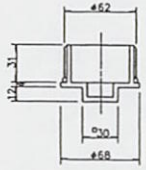
K型セグメント



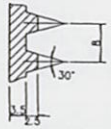
グラウト孔詳細

STKM13A

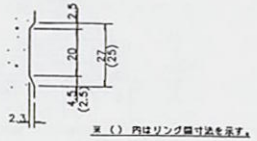




ネジ部

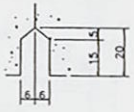


シール溝詳細



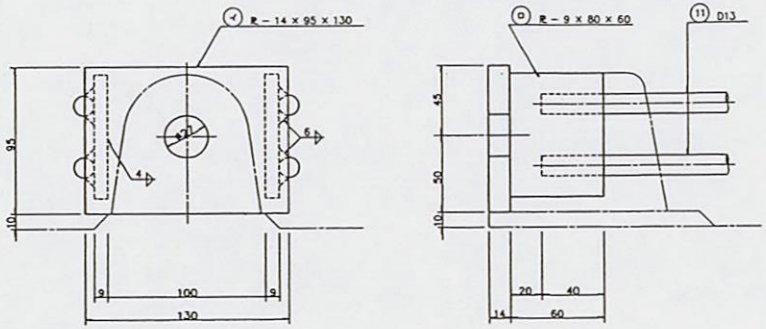
※ ( ) 内はリング筒寸法を示す。

コーキング溝詳細

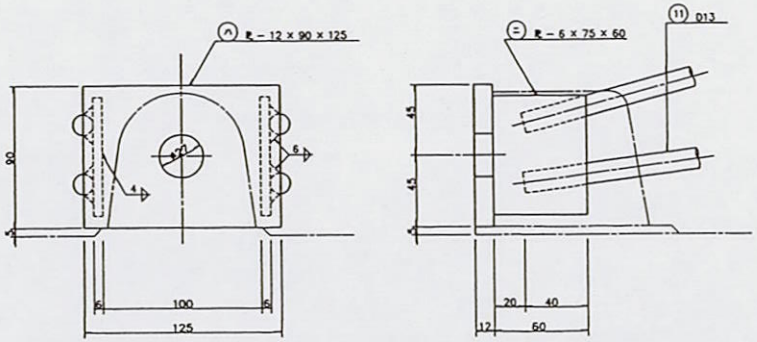


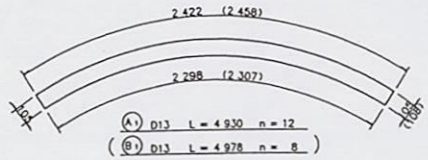
単位：mm

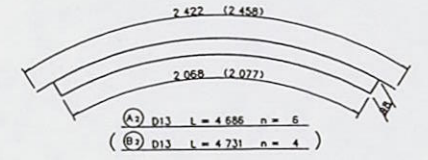
セグメント間継手部

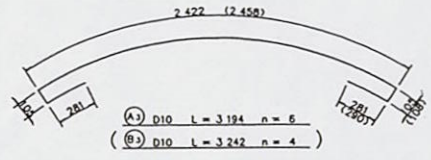


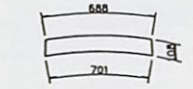
リング間継手部







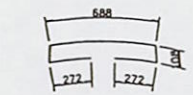




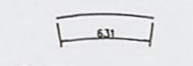
(K1) D13 L＝1 605 n＝4



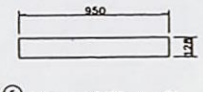
(K2) D13 L＝1 355 n＝2



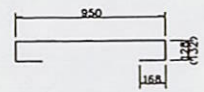
(K3) D10 L＝1 448 n＝2



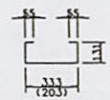
④ D10 L＝631 n＝20



⑤ D10 L＝2 156 n＝84



⑥ D10 L＝1 542 n＝8
(⑦ D10 L＝1 550 n＝4)



⑧ D13 L＝705 n＝64
(⑨ D13 L＝575 n＝22)



⑩ D13 L＝434 n＝12



⑪ D13 L＝200 n＝224

材料表

名称		寸法 (mm)	単重 (kg/本)	本数	重量 (kg)	備考
(A1)	D13	4 930	4.905	12	58.9	SD345
(B1)	〃	4 978	4.953	8	39.6	〃
(K1)	〃	1 605	1.597	4	6.4	〃
(A2)	〃	4 686	4.663	6	28.0	〃
(B2)	〃	4 731	4.707	4	18.8	〃
(K2)	〃	1 355	1.348	2	2.7	〃
(A3)	D10	3 194	1.789	6	10.7	SD295
(B3)	〃	3 242	1.816	4	7.3	〃
(K3)	〃	1 448	0.811	2	1.6	〃
④	〃	631	0.353	20	7.1	〃
⑤	〃	2 156	1.207	84	101.4	〃
⑥	〃	1 542	0.864	8	6.9	〃
⑦	〃	1 550	0.868	4	3.5	〃
⑧	D13	705	0.701	64	44.9	〃
⑨	〃	575	0.572	22	12.6	〃
⑩	〃	434	0.432	12	5.2	〃
⑪	〃	200	0.199	224	44.6	〃
㋐	R－14×95×130		1.357	24	32.6	
㋑	R－9×80×60		0.339	48	16.3	
㋒	R－12×90×125		1.060	32	33.9	
㋓	R－6×75×60		0.212	64	13.6	
ボルト	セグメント用 M24	L＝65		12	(6.8)	ワッシャー 3.2×60×60 t16 40
〃	リング用 M24	L＝65		16	(6.8)	ワッシャー 3.2×60×60 t16 40
グラウトホース	φ70	t＝6 L＝110		6	STKM13A	

主鉄筋重量	400.2 kg/m
同材質重量	96.4 kg/m
コンクリート体積	2.268 m³/m

単位：mm

添付資料－２　セグメント補修基準（案）

セグメント補修基準（案）

1．セグメントの補修

1．1　エアーボイド

コンクリート系セグメントの表面に発生するエアーボイドはその長径が 8㎜ 以下であることとし，満足しない場合には適切な補修を行うものとする。

ただし，シール溝内に発生するエアーボイドはその長径が 8㎜ 以下またはシール溝幅の 1/3 以下の小さい方を満足することとし，満足しない場合には適切な補修を行うものとする。

【解説】

コンクリート系セグメントの製作にあたって型枠面などのコンクリート表面に発生するエアーボイドは基本的に有害なものとは考えられないが，過大なエアーボイドはセグメントの耐久性能，耐荷性能に影響を与えることから制限値を定め，これを上回る場合には適切な補修を行うものとした。

一般部では鉄筋の被りを確保できれば基本的に問題がないと考えられることから，エアーボイドの深さは耐久性を考慮して定めた。セグメントメーカなどの継手面に対する最小鉄筋被りの設定方法を調査した結果，表－１．１示すように大きめの鉄筋被りを設定していることが確認された。しかしながら，これらの数値はメーカーの内規であり，公の基準ではないことからここでは，「シールド工事用標準セグメント」に規定されている最小被りと，局部的に認める最小被りの限界値の関係から，許容深さを定めることとした。現行の基準では鉄筋の被りは 13㎜ 以上かつ鉄筋直径以上を確保するものとしているが，テーパーセグメントなどでは局部的な被りを 10㎜ まで許容している。このことから，エアーボイドによる鉄筋被りの減少は局部的なものであると判断し，その深さは 3㎜（13-10㎜）まで許容できるものとした。その大きさは実績調査に基づき，長径 8㎜ までを許容したものである（３．参考資料参照）。

表－１．１ 各メーカーの鉄筋被りの実態（継手面に対する鉄筋被り）

メーカー	継手面に対する 一般的鉄筋被り	継手面に対する 最小鉄筋被り
A社	20㎜	13㎜
B社	20㎜	13㎜
C社	25㎜	13㎜
D社	20㎜	13㎜

また，シール溝はエアボイドの存在によって止水性の低下が懸念されるため補修することを基本と考えるべきであるが，補修方法や使用材料によってはシール材の接着性に問題が生じることが予想される。このため，シール溝内に発生したエアボイドはその長径がシール溝幅の 1/3 を上回るか，8㎜ を超える場合には穴埋めのみを行うものとする。シール溝全体を一様に補修する場合にはその方法と使用材料を十分に検討するものとした。

1．2　ひび割れ

コンクリート系セグメントの表面に発生するひび割れは以下の水準を満足するものとし，満足しない場合には適切な補修を行うものとする。

①　セグメント内面から外面に達するひび割れは認めない。

②　その他のひび割れはひび割れ幅0.1㎜を上回らないこと。

【解説】

コンクリート系セグメントには脱型時，運搬時，保管時等に乾燥収縮，温度応力などの影響で微細なひび割れが発生することがある。一般的に使用前のセグメントに発生するひび割れは充分に微細であり，セグメントの耐久性能，耐荷性能に影響を与えるものとは思われない。しかしながら，過大なひび割れはセグメントの耐久性能を損うばかりではなく，組立時，施工時の損傷を誘発することが懸念されることから制限値を定め，これを上回る場合には適切な補修を行うものとした。

①について：セグメントの内面から外面まで貫通するひび割れはトンネル完成後の止水性を損う原因となることが懸念されることから原則として補修することとした。

②について：ひび割れ幅はシールド工事用標準セグメントにおいて耐久性を考慮して0.1㎜まで許容されていることからこれに準じた。0.1㎜を上回るひび割れについては原則として補修することとした。

1．3　損傷

コンクリート系セグメントに発生する欠け等の損傷は以下の水準を満足するものとし，満足しない場合には適切な補修を行うものとする。さらに，特に著しい損傷を受けたセグメントについては破棄することを原則とした。

①　シール溝に掛かる損傷は認めない。

②　局部的にも鉄筋が露出する損傷は認めない。

③　その他の損傷は深さおよび高さは10㎜，幅は20㎜を上回らないこと。

【解説】

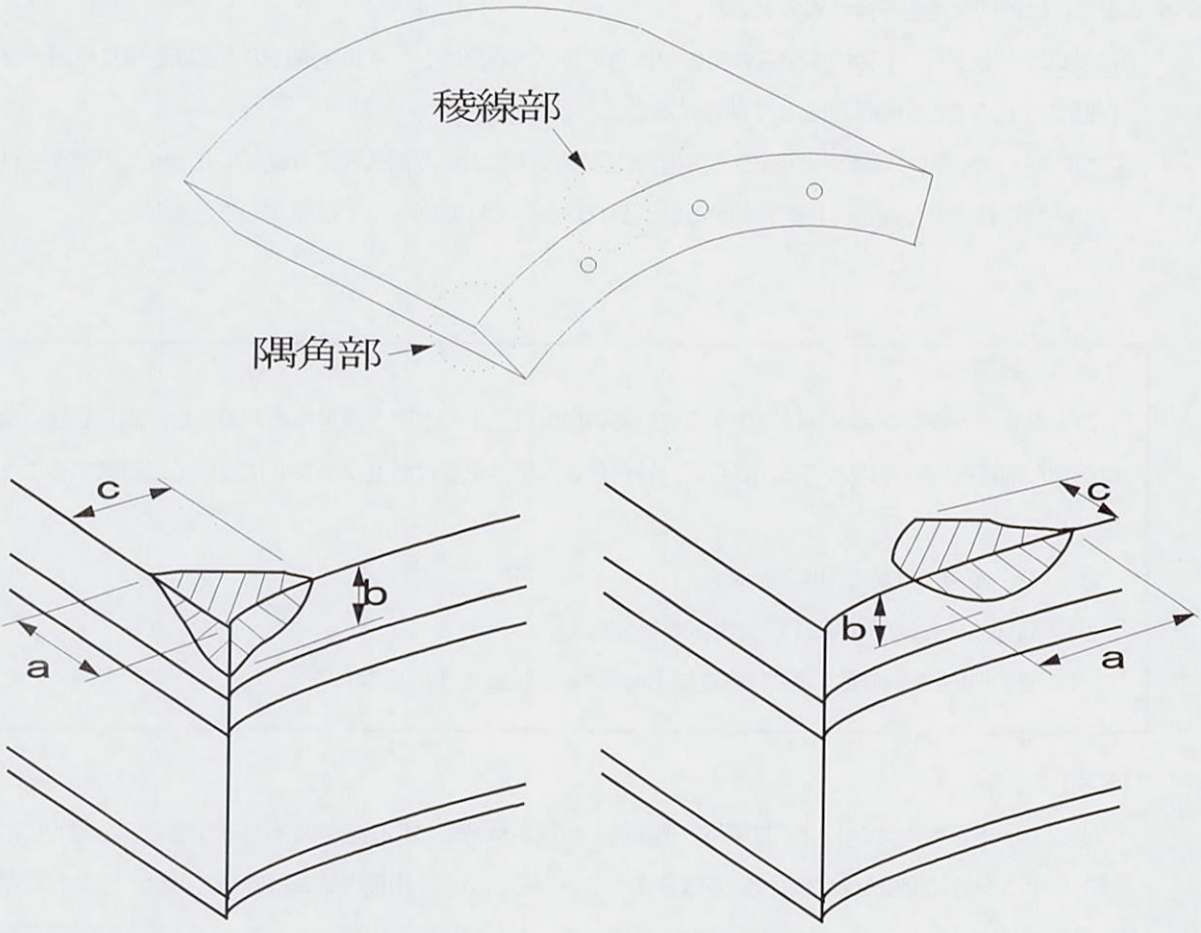
コンクリート系セグメントは，脱型時，運搬時，仮組試験時等に損傷を受けることがある。一般的には損傷を受けないよう充分に配慮された取扱い方法を採っていることから，損傷の確率は極めて低い。しかしながら，過大な損傷はセグメントの耐荷性能や耐久性能を損うことから制限値を定め，これを上回る場合には適切な補修を行うものとした。

①について：シール溝に損傷を受けた場合には補修を施した場合でも止水性能を完全に回復することは難しく，さらに，組立後に外力が作用した際に再度損傷する可能性が高いことから，原則として補修による利用は認めないものとした。ただし，損傷前のコンクリートを上回る強度で補修することが可能であり，寸法精度を確保

できることが確認されている場合には補修による利用も可能である。

②について：シール溝同様に局部的にも鉄筋が露出するような損傷を受けた場合には，鉄筋の腐食等が懸念されるため原則として補修による利用を認めないものとした。ただし，損傷前のコンクリートを上回る強度で補修することが可能であり，寸法精度を確保できることが確認されている場合には補修による利用も可能である。

③について：一般にコンクリート系セグメントの損傷は隅角部や稜線部に集中している。そこで，最も鉄筋の被りが少ないリング継手の稜線部において損傷後も鉄筋被りが 13㎜ 以上確保できることを前提として微少な損傷は許容することとした。また，損傷の深さ，高さならびに幅（図－１．１参照，ａ：幅，ｂ：高さ，ｃ：深さ）については，損傷箇所がセグメント継手の圧縮縁にある場合に，標準的な 1,000㎜ 幅のセグメントで圧縮縁のコンクリート断面積が２％以上減少しないものとし，これを上回る場合には補修を行うこととした。



図－１．１　損傷の大きさの定義

1．4　変色

コンクリート系セグメントの表面に鉄筋からの赤錆が露出している場合には，破棄するものとする。その他の要因による変色については，そのまま使用することを認めるものとする。

【解説】

コンクリート系セグメントの変色は，使用するセメント，骨材，保管時の直射日光，風雨等によって発生することがある。基本的にこれらの原因による変色は，セグメントの構造的な機能を阻害するものとは考えられないことからそのまま使用することを許容した。ただし，セグメントの表面に鉄筋の赤錆が露出するような場合には，セグメントの耐久性が著しく損われていることが容易に予想されることから，その使用を禁止するものとした。

2．検査方法

2.1　エアーボイド

エアーボイドの検査は補修の要否の基準となる見本を用意し，これと比較することによって判定することとする。

【解説】

エアーボイドの調査は基本的にセグメントの全ての表面に対して実施するべきと考えられるが，このような調査はエアーボイドの計測に多大な労務が必要となることから，本基準（案）の主旨である「補修に要する労務費の低減をはかる」に反するものと考えた。

このため，目視による検査を標準とし，その判断基準となる見本（3．参考資料参照）を用意することによって検査を容易たらしめることとした。ただし，目視によって判断しきれない場合については，スケールによってその大きさを測定し，確認することとする。

2.2　ひび割れ

ひび割れの検査は，最もひび割れが発生しやすいと考えられるセグメントの継手面で代表して行うものとする。ひび割れの測定は継手面全体に対してクラックゲージを用いて行うものとする。

【解説】

ひび割れはセグメントの耐久性に重大な欠陥を生じる要因であることから，ひび割れ発生の確率が高い継手面についてのみ全面で行うものとした。

2.3 損傷

損傷の検査はセグメント全体に対して行うものとする。

測定に当っては，損傷の限界ゲージ（深さ 10㎜，高さ 10㎜，幅 20㎜）を用意し，これと比較することによって評価する。

【解説】

損傷はひび割れと同様に，セグメントの耐久性に大きな影響を与えるのみならず，セグメントの耐力や継手の機能を損うことも考えられることから，セグメント全体に対して行うものとした。

特に，セグメントの隅角部ならびに稜線部には損傷が生じる可能性が高いことから十分に注意する。

2.4 変色

変色の検査は，目視によってセグメント全体に対して行うものとする。ただし，継手金具やグラウトホール，吊手金具等の表面に発生した錆によるセグメント表面の着色であると判断された場合には，基準の適用外とし，適切な事後処理を行うものとする。

【解説】

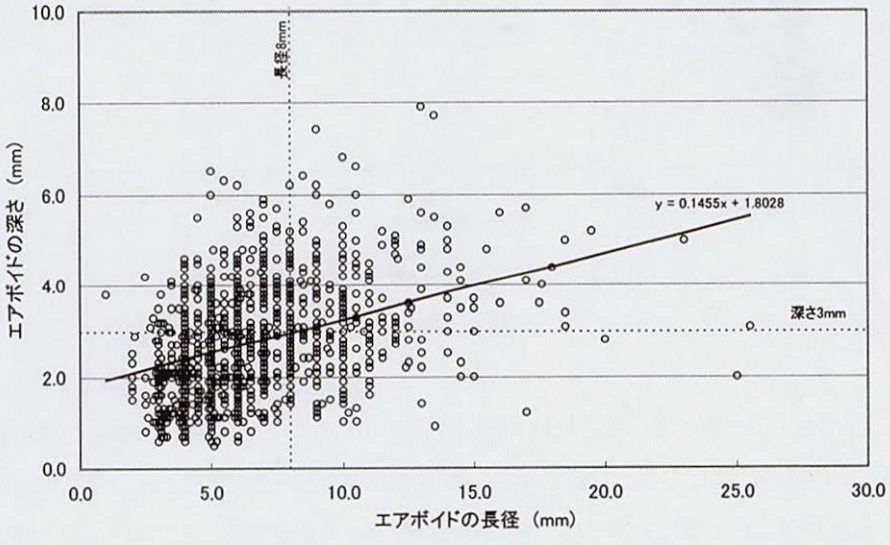
変色については，定量的な測定が困難であるとの判断から目視による検査とした。

鉄筋コンクリート製セグメントには，継手金具やグラウトホール，吊手金具等，鋼材がセグメント表面に露出するものがある。これらの表面に露出する鋼材は型枠内で発錆する可能性があり，この錆によってコンクリート表面に錆が付着することが考えられる。しかしながら，これらの錆はセグメントの構造ならびに耐久性に与える影響が極めて小さいと判断されることから，鋼材露出表面の錆によるものと判断できる場合にはこれを対象外とし，適切な処理を施すことで対応するものとした。

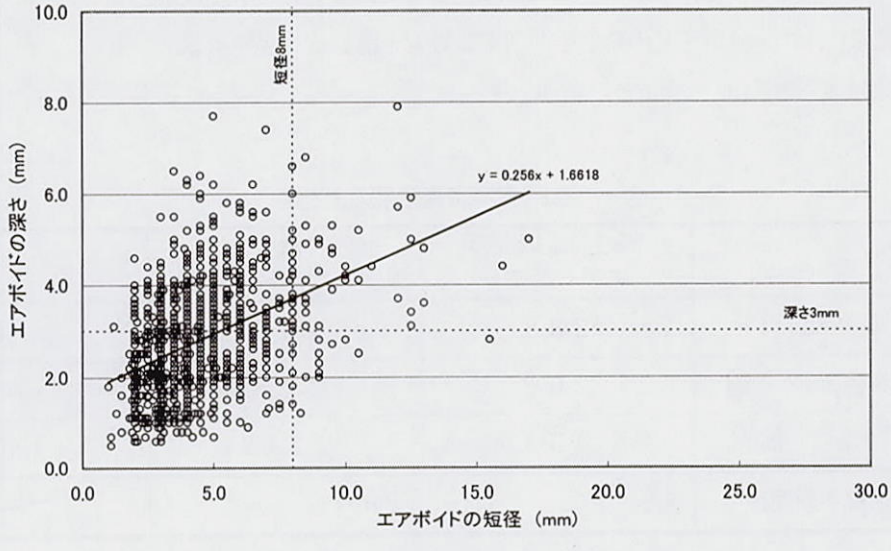
3．参考資料

3．1 セグメントのエアーボイドに関する調査結果

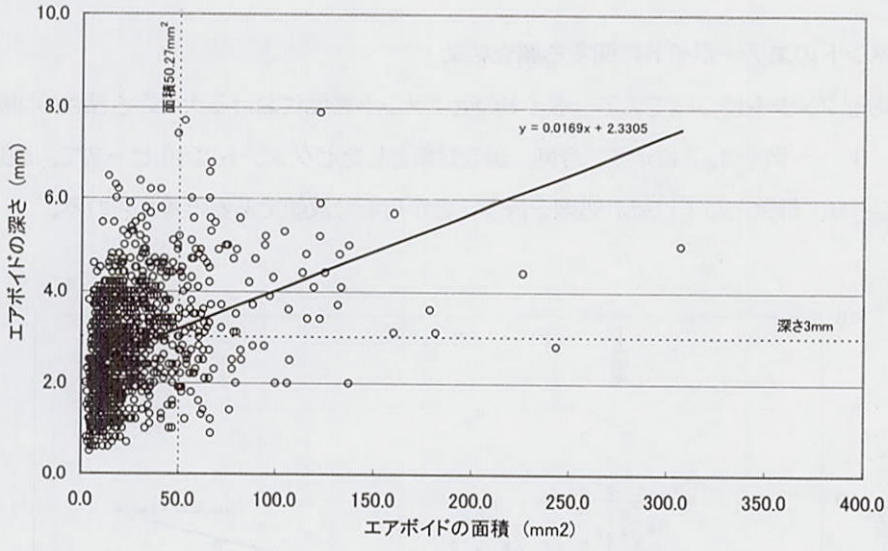
現在製作中のセグメントについてエアーボイドのセグメント表面における大きさと深さの関係を試験的に調査した結果を図－3．1～図－3．3に示す。今回，調査対象としたセグメントは10ピースで，調査データー数は約1,700データであり，母数としては統計処理を行うことが可能な数値であると考えられる。



図－3．1　エアボイドの長径と深さの関係



図－3．2　エアボイドの短径と深さの関係



図－３．３　エアボイドの面積と深さの関係

この結果から，面積とエアーボイドの深さには相関性が認められないことが判る。エアーボイドの径（長径，短径）とエアーボイドの深さに注目すると長径と深さの関係に比較的相関性がみられる。今回の測定データについて一次の相関をとると長径 8㎜ が概ねエアーボイドの最大深さ 3㎜ の相当することが判る。配力筋の被りに関する実態調査の結果，一般的に鉄筋被りを 20㎜ 以上確保していることから，長径 8㎜ 以下のエアーボイドの最大深さ約 7㎜ を対象としても最小被りを 13㎜ 確保できることから問題はないと判断される。ただし，被りを縮小する場合には，管理を徹底し，エアーボイドの発生を抑制する対策を講じるべきである。

実績調査の結果は表－３．１に示すように整理できる。

表－３．１ 実績調査結果のまとめ

		深さ 3㎜ 以上のエアーボイド	深さ 3㎜ 以下のエアーボイド（参考）	計
個数	長径 8㎜ 以下	２８８	８７４	1,162
	長径 8㎜　超	２０５	３３８	543
	全　体	４９３	１２１２	1,705
調査対象継手断面積		１１．３８m²		

この結果から，長径 8㎜ 以下のエアーボイドの内，深さ 3㎜ を上回るものは約２５％であることが判る。このエアーボイドが配力筋の直上に発生する頻度を以下のように求めた。

① セグメント（継手面）の単位表面積当りに長径 8㎜ 以下で深さ 3㎜ 以上のエアーボイドが発生する頻度は，次式によって求められる。

$$f_0 = \frac{\text{発生度数}}{\text{調査対象面積}} = \frac{288}{11.38} = 25.3\text{個}/\text{m}^2$$

② ここで，一般的な配力筋の最小ピッチを100㎜，配力筋をD13と仮定する。

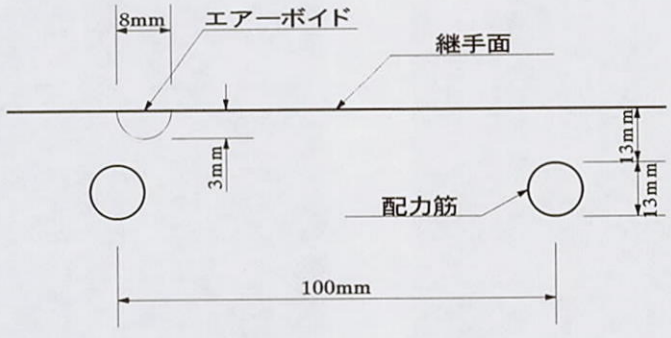
③ エアーボイドがセグメントの継手面全体に同一の確率で発生すると仮定すると，図－３．４に示すように配力筋の直上に深さ3㎜以上で長径8㎜以下のエアーボイドが発生する確率は，次式によって求められる。

$$p = \frac{\text{配力筋の公称直径}}{\text{配力筋の最小ピッチ}} = \frac{13}{100} = 0.13$$

④ ここで，1㎡当りにおいて配力筋の直上に深さ3㎜以上，長径8㎜以下のエアーボイドが発生する頻度は次式によって与えられる。

$$f = f_0 \cdot p = 25.3 \times 0.13 = 3.29$$

セグメント外径4m，厚さ15cmのRCセグメントの継手面積が１ピース当り概ね1㎡となることから，長径8㎜以下で深さ3㎜以上のエアーボイドが配力筋の直上に位置することによって，耐久性に影響を受ける配力筋が発生する頻度は１ピース当り３個以上となる。



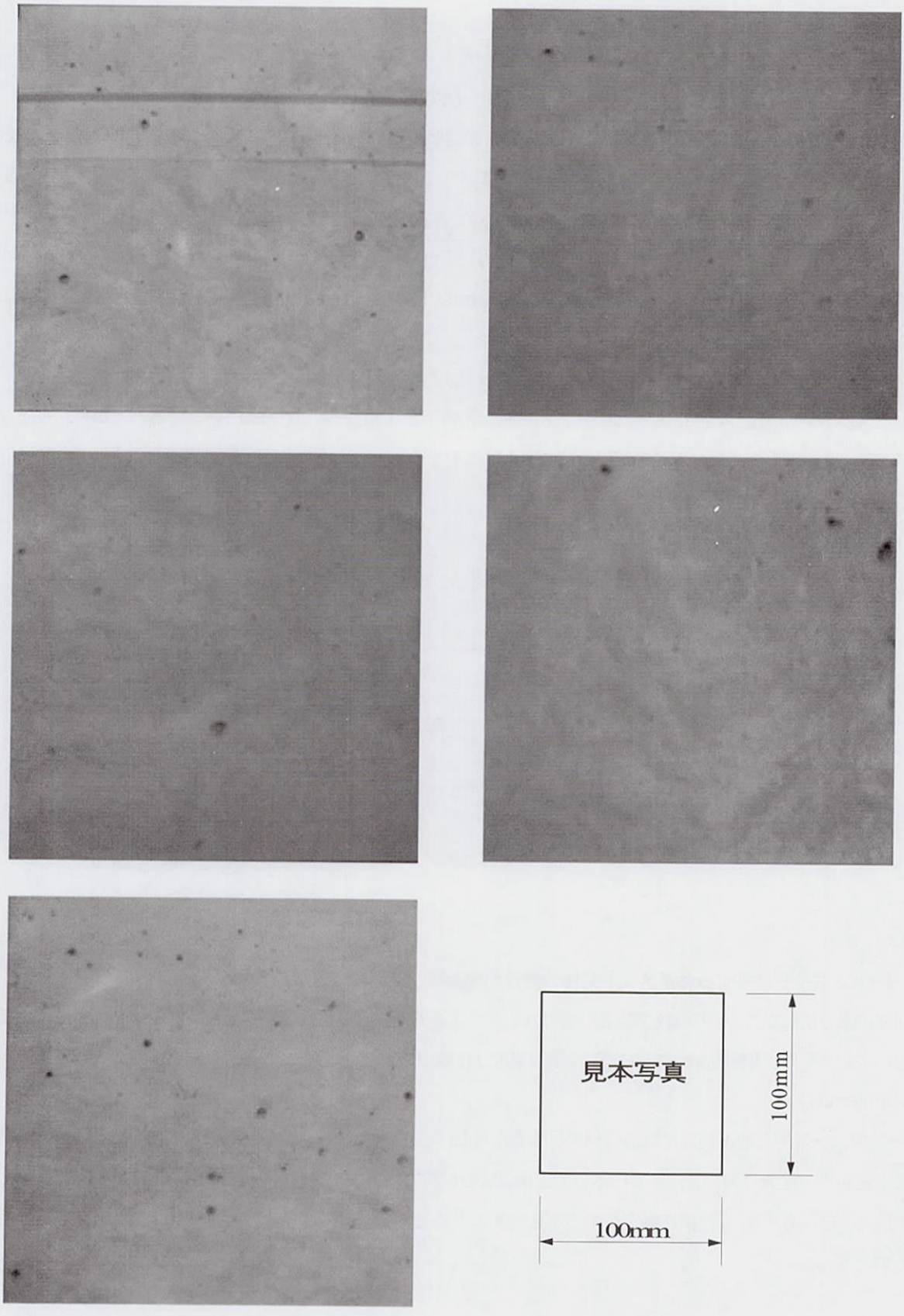
図－３．４　有害なエアーボイドの定義

３．２ エアボイドに対するセグメント補修の要否判定基準

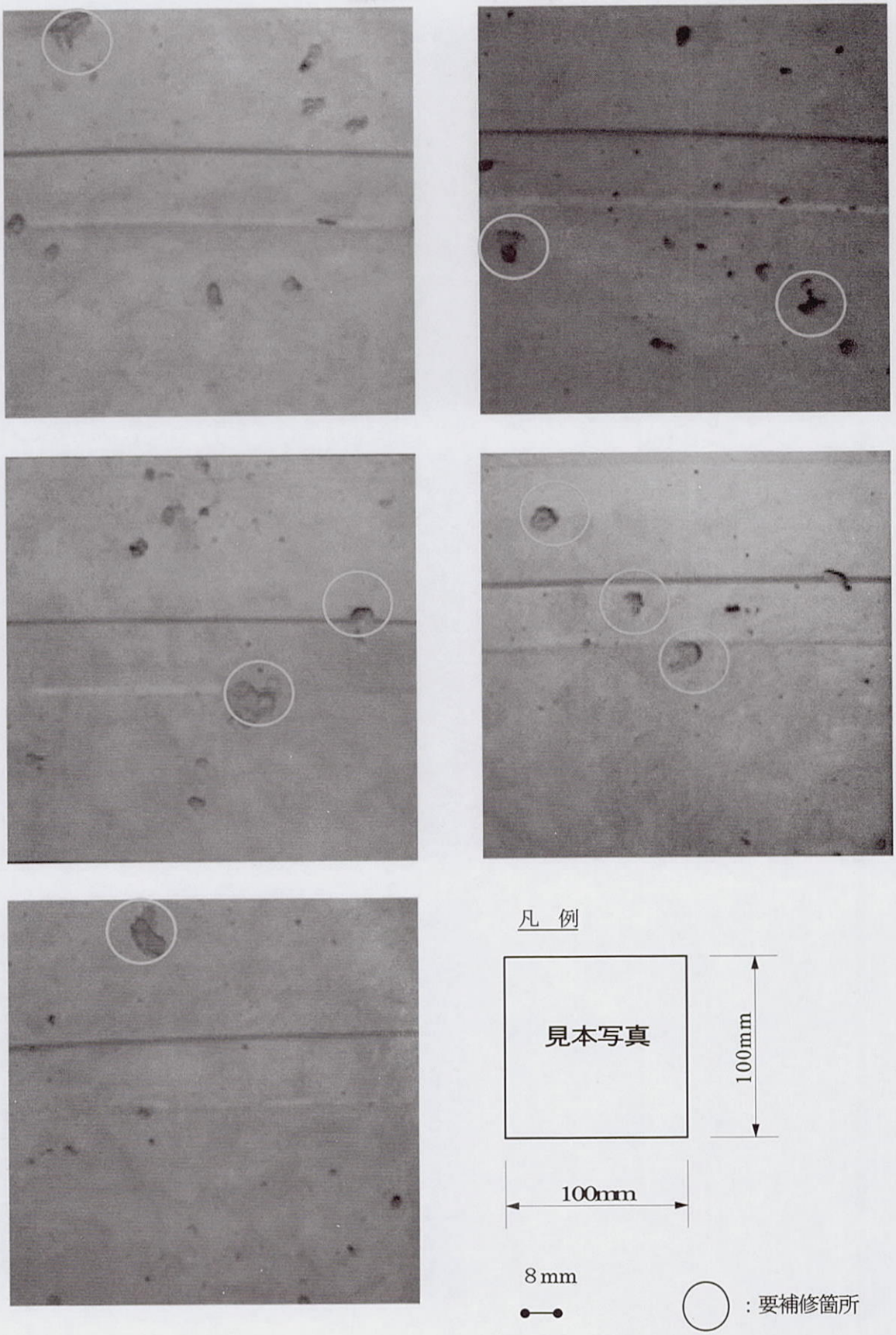
前述のように，エアボイドの調査結果に基づいてセグメント補修の要否判定基準を暫定的にエアボイドの長径に注目して定めたが，実質的な検査ならびに製造工程においてエアボイドの大きさを全て測定することは作業量が多く現実的ではない。

そこで，日常的な要否判定には補修判定見本を用意し，この見本と比較することによって補修の要否を判断することとする。検査においては必要に応じて，検査官の判断でエアボイドの大きさを実測し確認することとする。

図－３．５～図－３．６に補修判定見本の例を示す。この見本については，今後必要に応じて増減または変更するものとする。

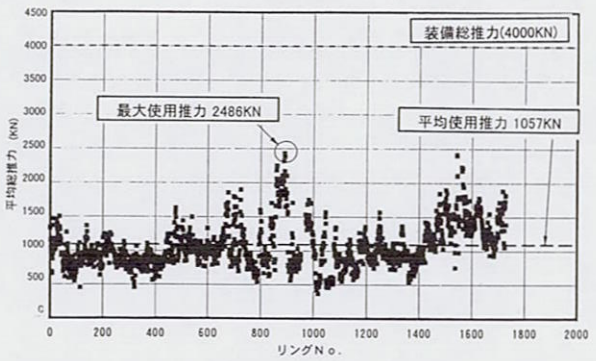
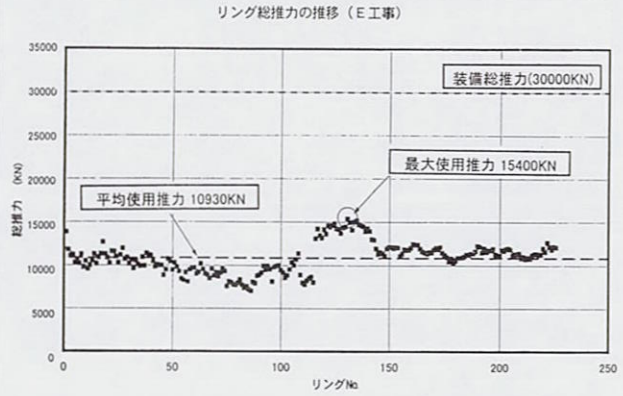
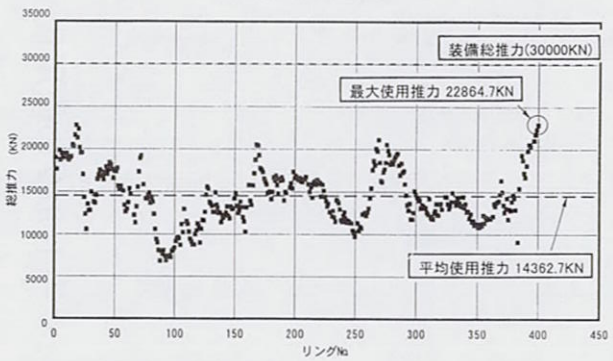
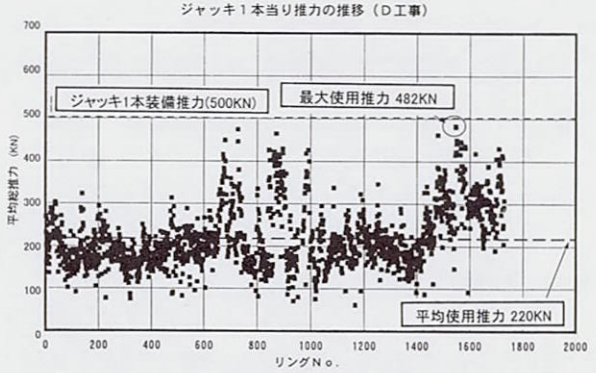
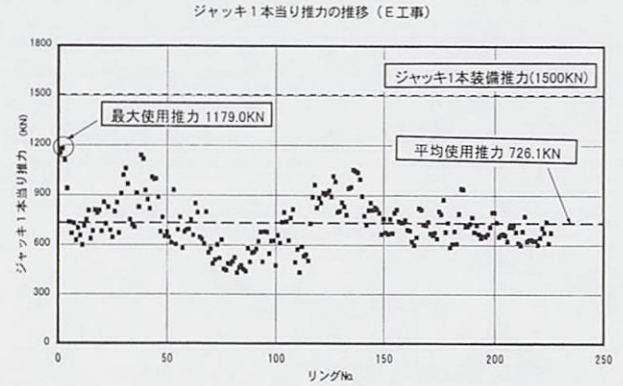
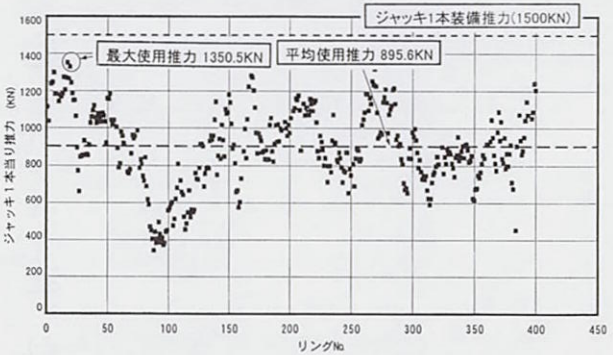
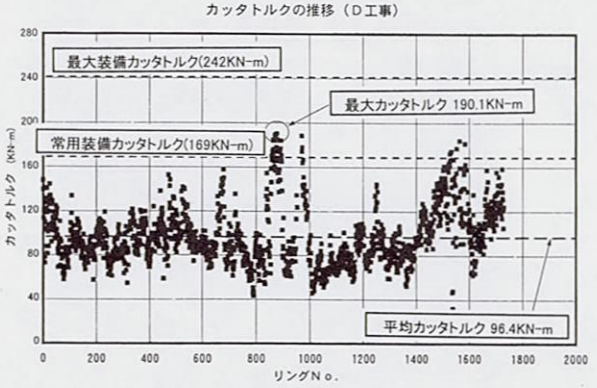
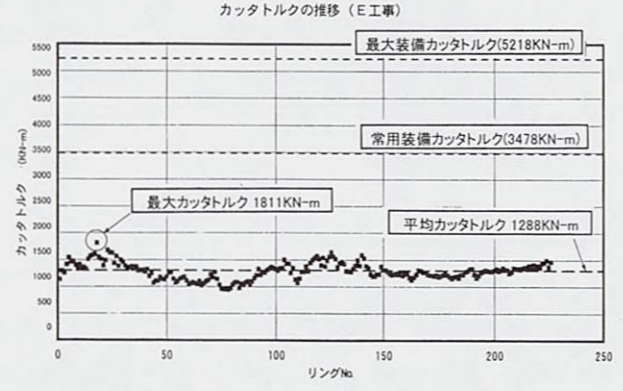
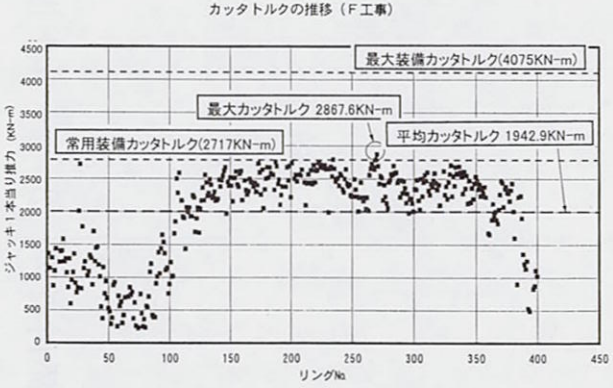


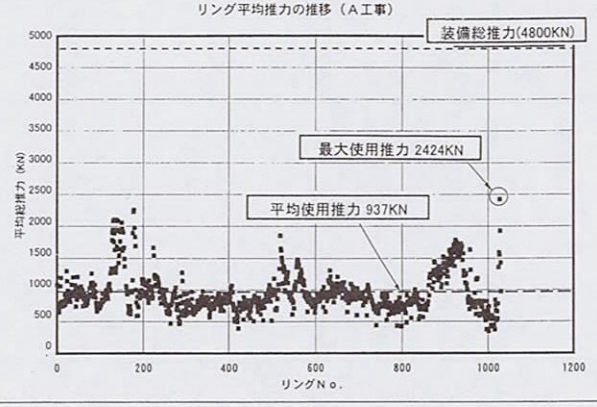
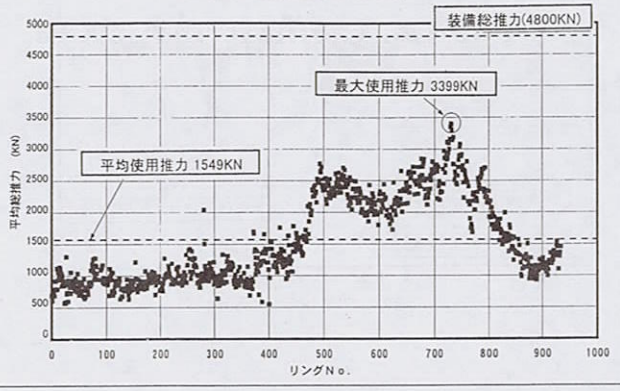
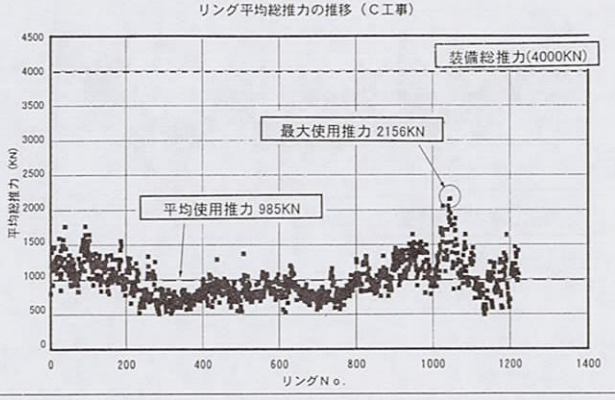
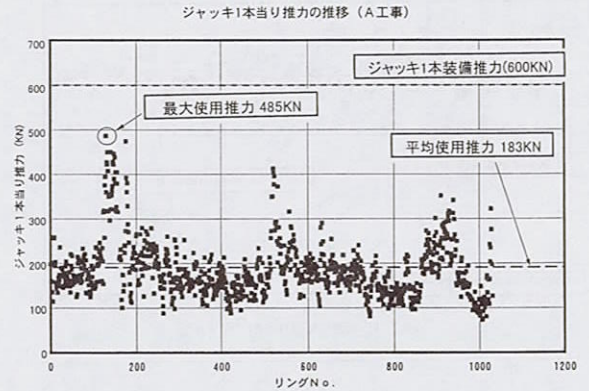
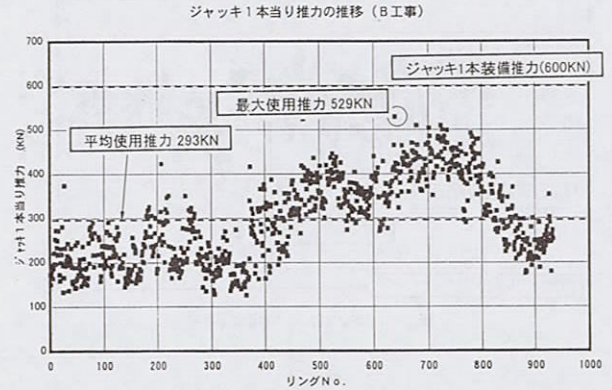
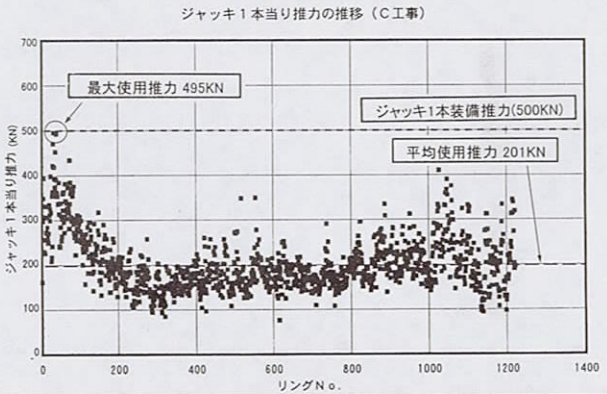
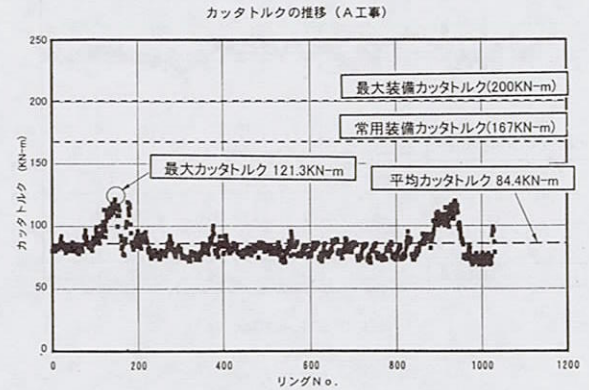
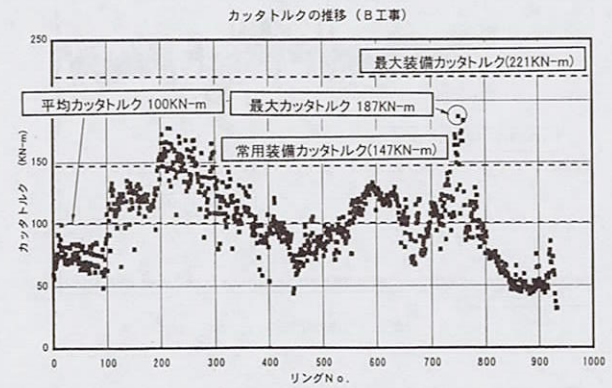
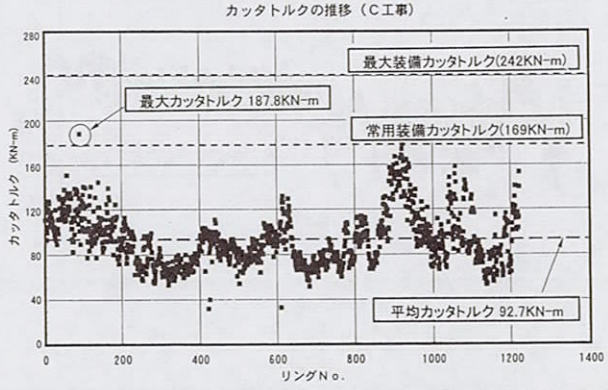
図－３．５　補修を必要としない場合の見本

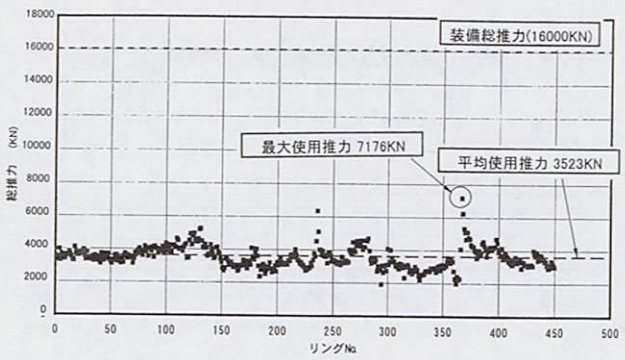
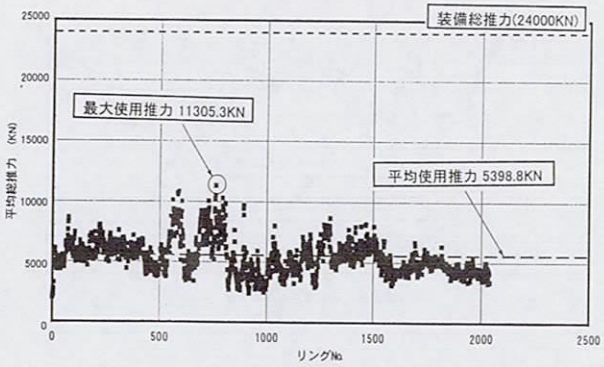
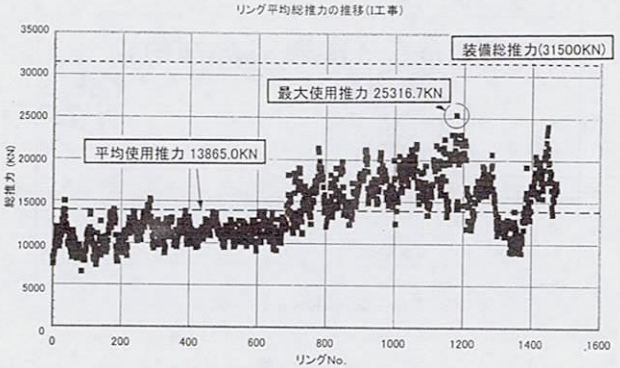
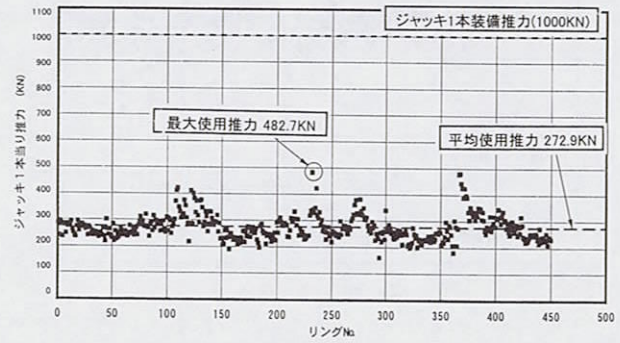
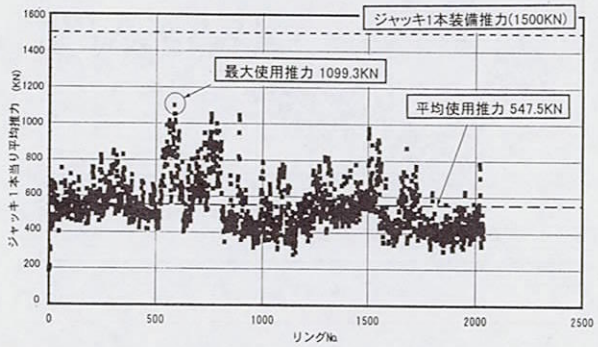
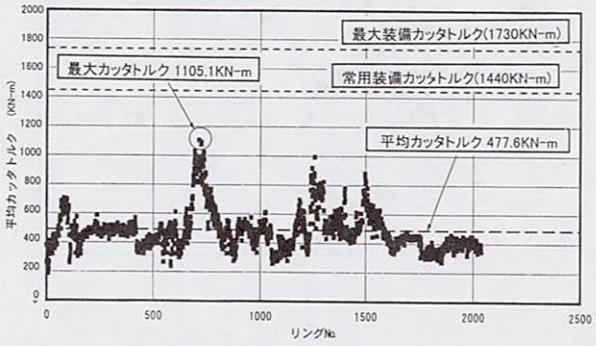
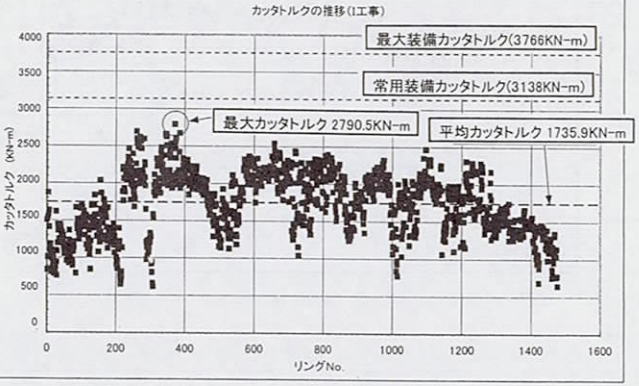


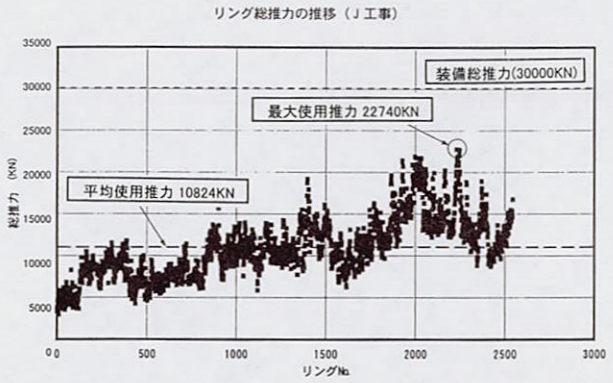
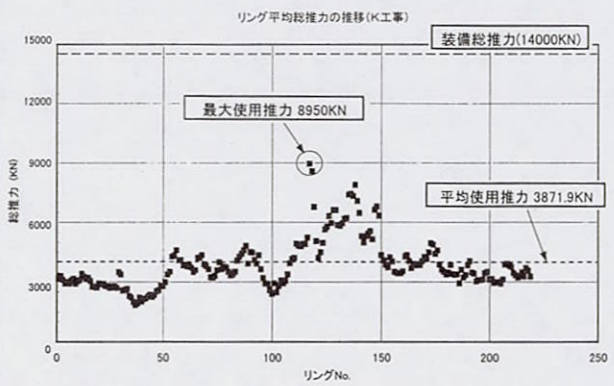
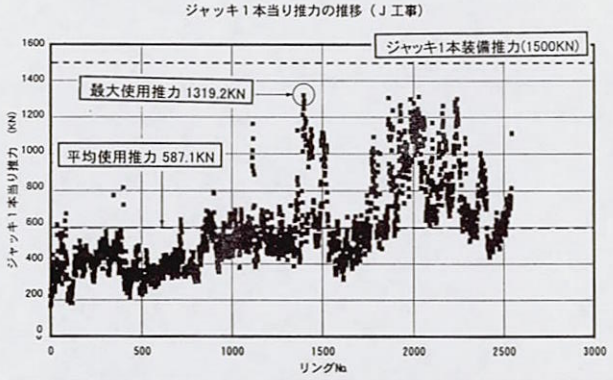
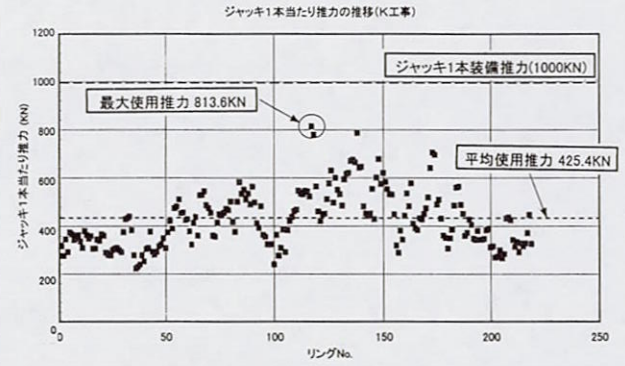
図－３．６　補修を必要とする場合の見本

添付資料－３　シールド掘進に伴うジャッキ推力・カッタートルクの使用状況

	D工事	E工事	F工事
平均総推力			
ジャッキ1本当たりの推力			
カッタトルク			

	A工事	B工事	C工事
平均総推力			
ジャッキ1本当たりの推力			
カッタトルク			

	G工事	H工事	I工事
平均総推力	リング総推力の推移（G工事） 	リング平均総推力の推移（H工事） 	リング平均総推力の推移(I工事) 
ジャッキ1本当たりの推力	ジャッキ１本当り推力の推移（G工事） 	ジャッキ１本当り平均推力の推移（H工事） 	
カッタトルク		平均カッタトルクの推移（H工事） 	カッタトルクの推移(I工事) 

	J工事	K工事	
平均総推力			
ジャッキ1本当たりの推力			
カッタトルク	