

土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの 開発に関する研究（その2）

— C P G アンカー —

共同研究報告書

平成21年12月

独立行政法人 土木研究所
三信建設工業株式会社
大日本土木株式会社
岡三リビック株式会社

Copyright © (2009) 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 Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事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、独立行政法人土木研究所理事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。

土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの 開発に関する研究（その2）

－ CPG アンカー －

独立行政法人土木研究所	技術推進本部（施工技術）	主席研究員	小橋 秀俊
三信建設工業株式会社	技術開発本部	本部長	所崎 茂
大日本土木株式会社	土木本部エンジニアリング部	部長	佐溝 時彦
岡三リビング株式会社	ジオテクノ本部 技術部	部長	三澤 清志

(いずれも代表者のみ)

要 旨

用地制限のある掘削構造等の土留め支保工の工期短縮・コスト削減を目的に、高耐力のアンカー技術である拡径型アンカー工法の開発を目的とし、独立行政法人土木研究所、三信建設工業株式会社、大日本土木株式会社、岡三リビング株式会社により、平成18年度から3年にわたり「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究（その2）」に関する共同研究を実施してきた。

本報告書は、アンカー体部を拡大させた拡径型アンカー工法の開発に向けて実施してきた共同研究の成果をとりまとめたものである。

キーワード：掘削構造、山留め、グラウンドアンカー、拡径型アンカー、引抜き

ま え が き

平成14年の「公共工事コスト構造改革プログラム」等において規格の見直し等によるコスト構造改革の推進が位置づけられている。これに伴い、掘割構造や土留・擁壁構造についても工期短縮・コスト縮減が望まれる。通常、掘割構造部を施工する際、山留め壁を構築し、切梁やグラウンドアンカーなどの支保工を併用するが、都市部等では、用地境界の問題でアンカー長を短くする必要のあることや、地盤が軟弱な場合にはアンカー長が極端に長くなるなどの問題がある。これらの問題を解決できる高耐力のアンカー技術を開発することにより、最小限の用地内で工期短縮・コスト縮減が可能となる。

そこで、高耐力のアンカー技術であるアンカー体部を拡大させた拡径型アンカー工法を開発することを目的に、独立行政法人土木研究所、三信建設工業株式会社、大日本土木株式会社、岡三リビック株式会社により、平成18年度から3年にわたり共同研究を実施した。

「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究（その2）」は、拡径型アンカーの引抜き特性に関する検討結果、コンパクショングラウチング工法（CPG工法）を用いた拡径型アンカー工法（CPGアンカー工法）の施工法の検討結果等を取りまとめたものであり、以下により構成される。

- ・ 土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究—基礎的実験編—
- ・ 土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究（その2）—CPGアンカー—

本報告は、上記のうち「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究（その2）—CPGアンカー—」であり、コンパクショングラウチングを併用した拡径型アンカー工法の施工法の検討結果や、設計・施工マニュアル等の研究成果を取りまとめたものである。なお、「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究—基礎的実験編—」は遠心場引抜き実験や実大引抜き実験により拡径型アンカーの引抜き特性について検討した結果を取りまとめたものであり、拡径型アンカーの基本的な引抜き特性についてはこちらを参照されたい。

共同研究担当者

所 属		役 職	氏 名
独立行政法人土木研究所	技術推進本部（施工技術）	主席研究員	小橋 秀俊
		主任研究員	宇田川義夫
		研 究 員	澤松 俊寿
		交流研究員	林 豪人
三信建設工業株式会社		本 部 長	所崎 茂
		部 長	山崎 淳一
		部 長	新坂 孝志
		課 長	和田 宏幸
		主 任	森脇 光洋
大日本土木株式会社		部 長	佐溝 時彦
		担当課長	伊藤 秀行
岡三リビング株式会社		部 長	三澤 清志
		室 長	小浪 岳治
		課 長	工藤 章光
		課長代理	小林 悟史

1.	工法の概要	
1. 1	はじめに	1
1. 2	工法の特徴	1
1. 3	標準的な施工手順	3
2.	実験結果	
2. 1	年度の概要	4
2. 2	注入材	
2. 2. 1	開発目標	11
2. 2. 2	配合の基本条件	11
2. 2. 3	配合実験経過	12
2. 2. 4	実験ケース一覧	13
2. 2. 5	決定注入材配合	15
2. 3	耐荷体	
2. 3. 1	目的	16
2. 3. 2	スケルトン型耐荷体	17
2. 3. 3	袋型耐荷体	33
2. 4	フィールド試験	
2. 4. 1	はじめに	49
2. 4. 2	本実験の目的	49
2. 4. 3	使用材料	50
2. 4. 4	地盤条件	51
2. 4. 5	実験ケース	52
2. 4. 6	予備実験	53
2. 4. 7	施工性の確認	54
2. 4. 8	アンカー体の引抜試験	58
2. 4. 9	耐荷体の出来形確認	63
2. 4. 10	アンカー体の出来形確認	64
2. 4. 11	本実験の総括	72
3.	研究のまとめ	
3. 1	研究の成果	74
3. 2	今後の課題	80
4.	設計・施工マニュアル（案）	81
5.	作業履歴	134

1. 工法の概要

1. 1 はじめに

CPG アンカー工法は土砂地盤を対象とした新しい高耐力アンカーであり、土砂地盤において所定の抵抗力を発揮させるために、地盤改良技術の一種である「コンパクショングラウチング (CPG)」とグラウンドアンカーを組み合わせる構造に特徴を有するアンカー工法である。

本工法は山留め壁工事の工期短縮やコスト縮減などの効果を期待し、以下の性能を主な目標として開発が進められた。

- ・ 対象地盤：粘性土 N 値 4 程度、砂質土 N 値 10 程度
- ・ 許容アンカー力 400kN 程度（極限耐力 600kN 以上）
- ・ アンカー長 10～15m 程度以内で施工が可能

開発は独立行政法人土木研究所との共同研究「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究（その2）」として（独）土木研究所と三信建設工業（株）、岡三リビック（株）、大日本土木（株）の民間 3 社による共同研究であり、各社の得意技術を集約し合理的な開発を進めた。

1. 2 工法の特徴

図-1.1 に CPG アンカー工法の概要を示す。以下に工法の特徴をまとめる。

(1) CPG アンカー工法は、コンパクショングラウチング (CPG) 手法^{*1)}により地盤中に加圧注入され造成されるグラウト体を有し、その奥部に同様の手法により削孔径以上の径に膨張させることができる袋材を有した耐荷体を配置して所定の定着力を発揮させるアンカー工法である。グラウト体と耐荷体を合わせて「アンカー体」と呼ぶ。

(2) グラウト体は直径 700mm 程度、長さ 2m 程度となり、周辺の摩擦抵抗に加え支圧抵抗が期待でき、摩擦型アンカーに比べて大きな引抜き抵抗が発揮される。

(3) アンカー体は加圧注入により地盤を押し拡げて造成されるため、周辺地盤の締固め効果により、地盤との摩擦抵抗力が強化され、N=10 程度の土砂地盤においても大きな摩擦抵抗力が発揮される。

(4) 耐荷体も同様な手法により太径化できるため、耐荷体からグラウト体への引張り力の伝達が広い受圧面積で行うことができ、大きな引張り荷重に対応することができる。

(5) 耐荷体は袋材を用いることで出来形形状を安定化できる。

(6) PC 鋼より線の引張り力は、支圧拘束材を介して袋材に伝達される。

*1)：コンパクショングラウチング デンバーシステム

コンパクショングラウチング デンバーシステムは「静的圧入締固め」であり、スランプ 5cm 以下の極めて流動性の低いモルタルを振動や衝撃を全く加えずに地盤中に圧入する技術である。圧入されたモルタルはその低い流動性ゆえに迷走することなく所定の位置に固結体を造成する。この固結体の体積の増加が周辺地盤を圧縮し、密度を増大させる。

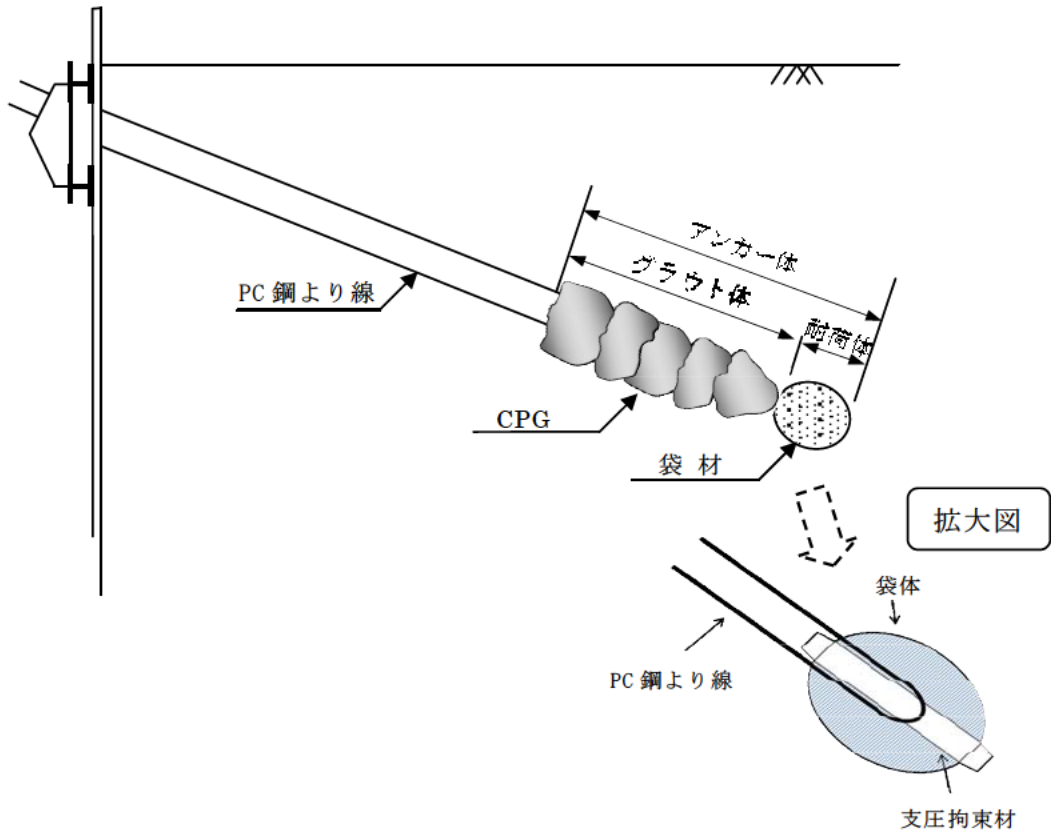


図-1.1 CPG アンカー工法概要

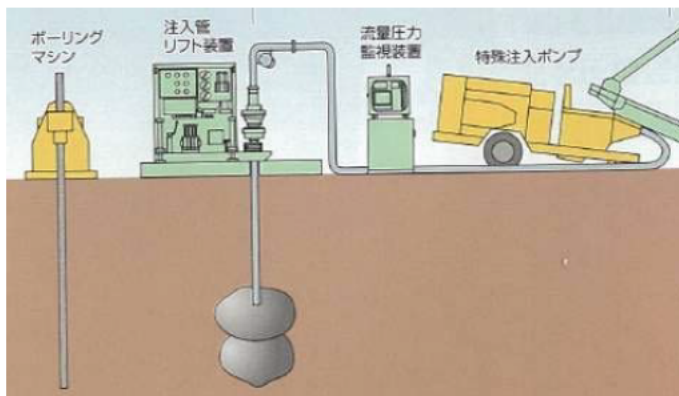


図-1.2 CPG 工法 施工模式図



図-1.4 CPG 工法 固結体出来形

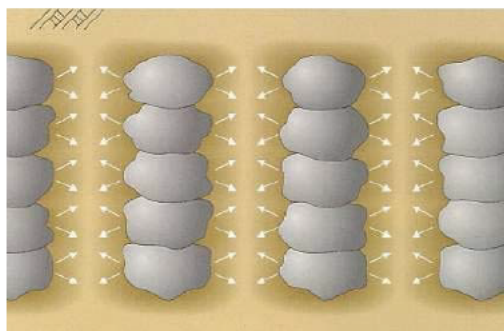


図-1.3 CPG 工法 締固め模式図

1. 3 標準的な施工手順

標準的な CPG アンカーの施工手順を図-1.5 に示す。

- ① 設計長まで削孔（削孔径 $\phi 165$ ）
- ② 耐荷体に CPG 注入管を装着しながらアンカー材を挿入
- ③ 所定の位置までケーシングを引き上げる
- ④ 耐荷体内（袋材内）に加圧注入することで所定の形状の（太径の）耐荷体を造成
- ⑤ CPG 注入管をステップ毎に引き上げながら注入材を加圧注入しグラウト体を造成
- ⑥ 所定の緊張力を得るために、緊張を行う

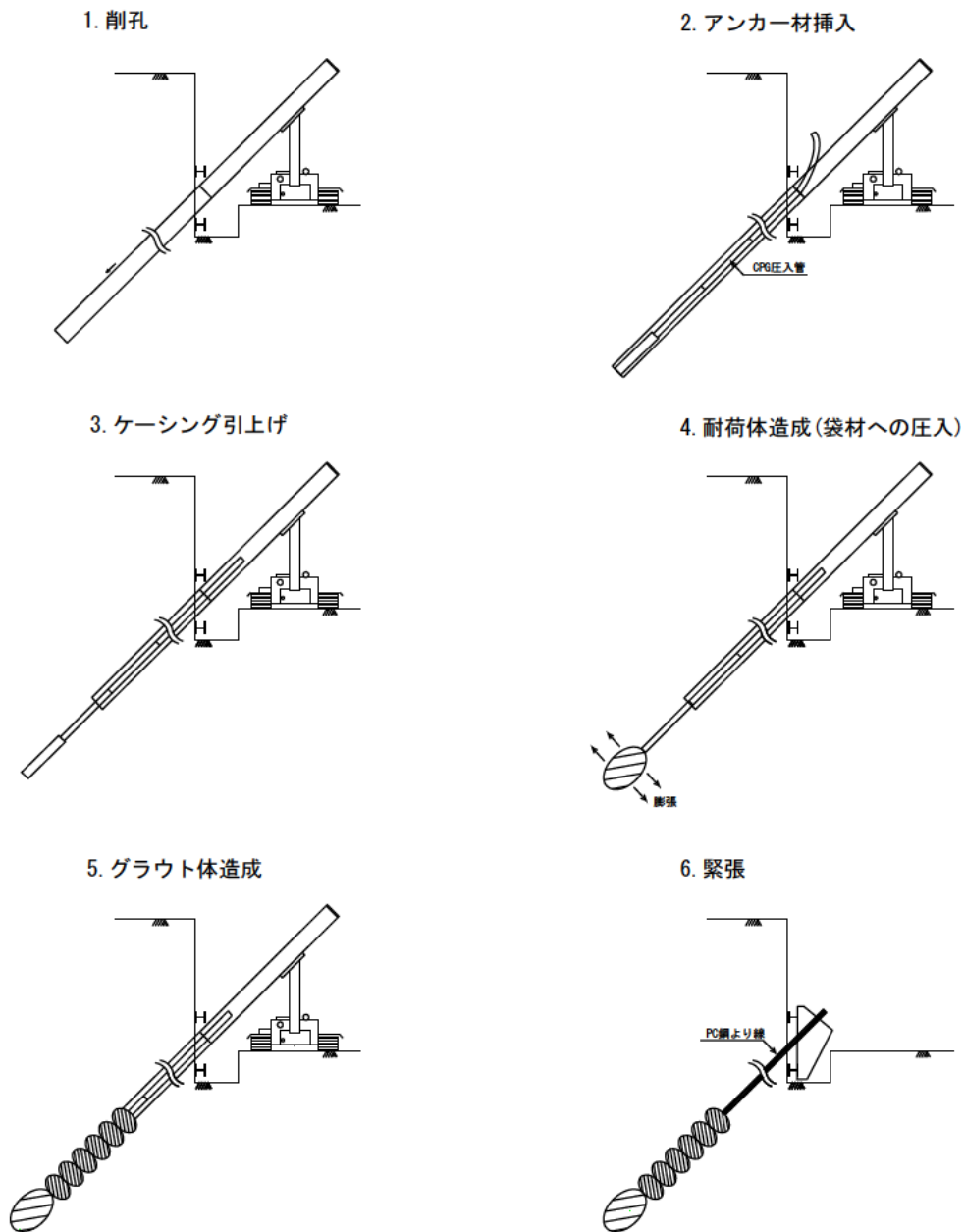


図-1.5 CPG アンカー工法施工手順

2. 実験結果

2. 1 年度の概要

表-2.1 に当グループとして構築した高耐力アンカーについて、工法の骨格となる部分について、当初想定した案から各種実験を経て最終的に構築された工法の概念図を示す。

図-2.1 に共同研究機関の3年間（平成18年度～20年度）に行ってきた実験などの経時フローを示す。表-2.2、2.3 にはそれぞれの実験の内容をまとめる。

表-2.1

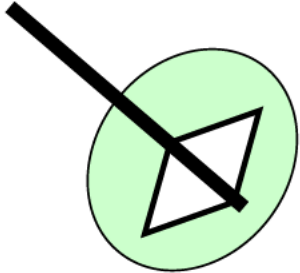
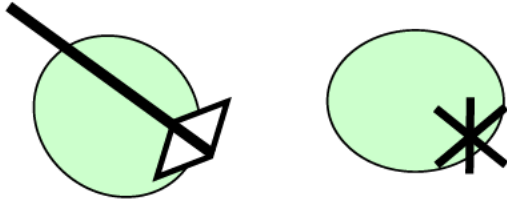
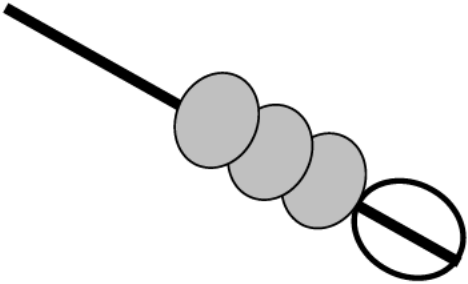
	支圧拘束材	注入材	工法全体 (概念図)
当初案	<ul style="list-style-type: none"> ・拡径型とすることでアンカー体への応力伝達などに有効であるため、拡径型とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧噴射攪拌工法 (CCP 工法) 併用 v.s. 静的圧入締固め工法 (CPG 工法) 併用に関し比較表の結果、CPG 工法を採用することとした。 ・高強度配合とするためセメント量を増やす→細粒分が増える→骨材比率のうち細粒分比率を小さくし粗骨材比率を大きくした 	
各実験による成果・知見に基づいた課題点・問題点など	<ul style="list-style-type: none"> ・拡径スケルトン部に注入材が充填されにくい ・拡径作業に手間がかかる (一作業多くなる) 	<ul style="list-style-type: none"> ・高強度配合の注入材は圧送性が悪い→管内閉塞し圧送できないケースが多い ・出来形形状をコントロールできない→安定した出来形形状にできない→拡径スケルトン部を確実に充填できない 	<ul style="list-style-type: none"> ・代表例として概ね下図のようになり、引抜き試験では改良体の破壊あるいはスケルトンの破壊 (十分に充填されていないため) により極限荷重となる 
改良案	<ul style="list-style-type: none"> ・管型の支圧拘束材とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・細粒分を増やす配合とする ・耐荷体部に袋材を用い、耐荷体の出来形形状を強制する (コントロールする) ・袋耐荷体の前面側に CPG によるグラウト体を造成し、一体としてアンカー体として機能させる 	<ul style="list-style-type: none"> ・極限引張り荷重=600kN を満足できた 

表 2.2 高耐力アンカー共同開発 全体フロー図

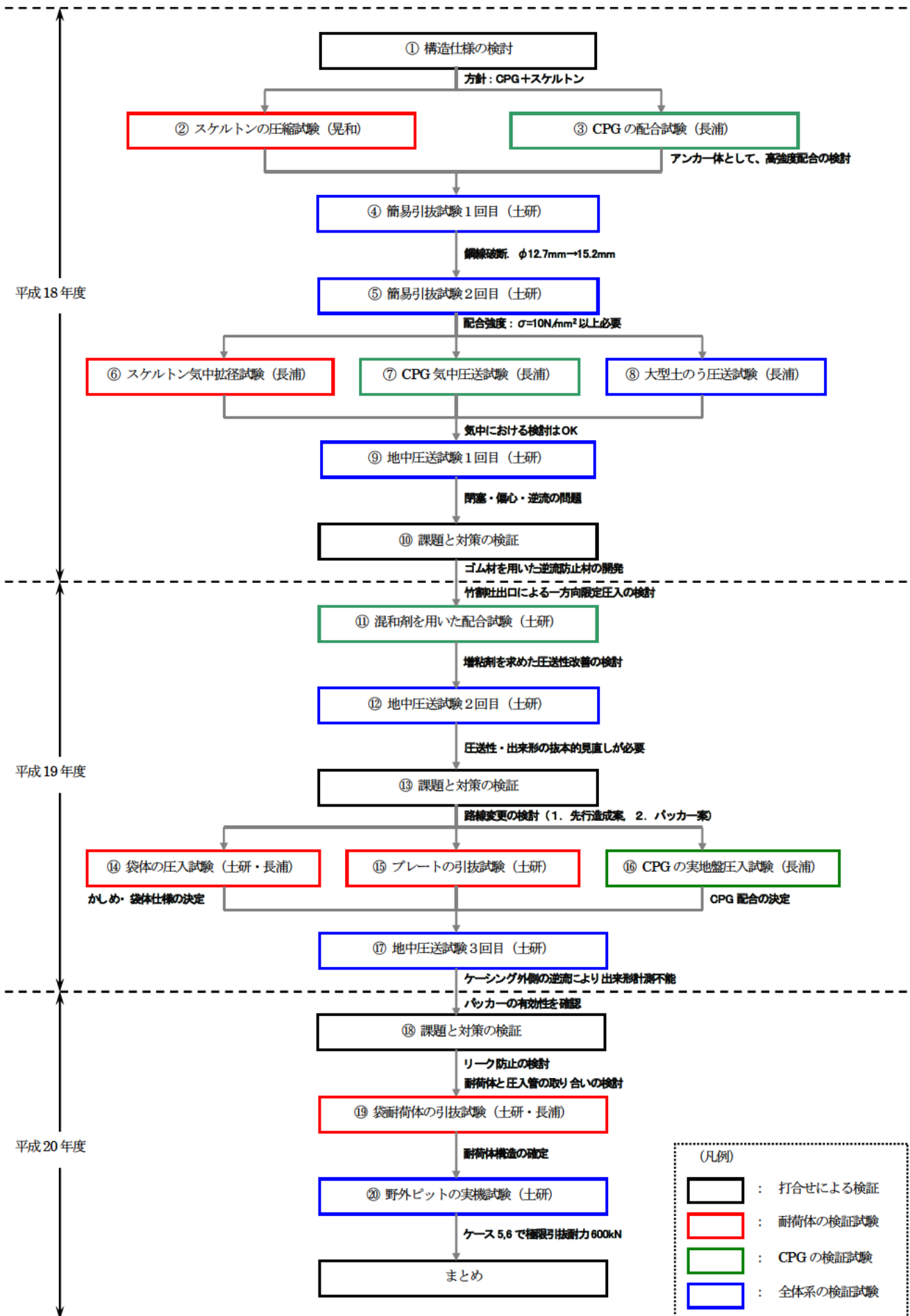


表-2.3

<開発目標> ・対象地盤：粘性土 N 値 4 程度、砂質土 N 値 10 程度 ・許容アンカー力 400kN 程度 (極限耐力 600kN 以上) ・アンカー長 10~15m 程度以内で施工が可能		実施内容	目的	実施時期			得られた成果・知見	課題点・問題点 および その時点での方向性	
				H18 年度	H19 年度	H20 年度			
研究項目	研究細目								
1. 定着部拡張方法の開発	地盤改良工法をベースとして拡張定着部の構築方法を開発する。	①構造仕様の検討	開発目標を達成する「高耐力アンカー」について、当グループにおいて効率的に開発できる構造仕様を決定すること。	■			<アンカー体部> ・高圧噴射攪拌工法 (CCP 工法) 併用 vs 静的圧入縮固め工法 (CPG 工法) 併用に関し比較表の結果、CPG 工法を採用することとした。 <耐荷体部のスケルトン> ・拡張型とすることでアンカー体への応力伝達などに有効であるため、拡張型とする。	・耐荷体としての必要スペックの明確化 : アンカー体 (CPG 改良体) の必要強度、スケルトンの仕様 →②スケルトンの圧縮試験を実施 ・高強度配合 CPG 材料 (注入材) の圧送性 →⑦CPG 気中圧送試験で確認 ・改良体の出来形 ・拡張方法 ・応力伝達機構の解明	
2. 大口径耐荷体の開発	削孔口元径 20cm でも挿入でき、拡張すれば約 80cm 程度に拡大できる大口径耐荷体を開発する。	②スケルトンの圧縮試験	耐荷体としての基礎耐力を確認すること	■			・スケルトンの単体強度はストッパーの強度に依存する。 ・ストッパーの標準仕様を φ13mm4 本とする。→座屈強度 180kN		
		③CPG の配合試験	アンカー体として高強度配合の検討	■			・高強度配合するためセメント量を増やす→細粒分が増える→骨材比率のうち細粒分比率を小さくし粗骨材比率を大きくした。	・ワーカビリティ ・ポンプ圧送性 →⑦CPG 気中圧送試験で確認	
		④簡易引抜試験 1 回目	耐荷体としての性能確認		■			<鋼線> ・使用する鋼線は当初計画= φ12 7mm×4 本→× ↓ φ15 2mm×4 本とする。	
		⑤簡易引抜試験 2 回目	耐荷体としての性能確認		■			<アンカー体部> ・アンカー体 (CPG 改良体) 強度: 10N/mm ² 以上必要 ・改良体径は CPG 工法の実績として 700mm <耐荷体部のスケルトン> ・拡張径 φ300, φ500 で性能に差はない→φ300 とする	
		⑥スケルトン気中拡張試験	CPG 注入ロッドを用いた拡張方法の確認		■			・CPG 注入ロッドによる拡張方法は適用可能 ・気中における (抵抗なし) 拡張荷重は 60kN 程度	
		⑦CPG 気中圧送試験	早強セメントを使用した高強度配合 (セメント量大) の CPG モルタルの圧送性の確認		■			・30N/mm ² の強度の配合でも圧送可能 ・ただし、バルブで出口を拘束すると圧送圧力が 6 4MP となり、圧送管が閉塞し圧送不可となった (強度 12N/mm ² 配合)。	・土中において拘束状態にある場合の圧送性 →⑧地中圧送試験 1 回目で確認
		⑧大型土のう圧送試験	CPG 改良体の簡易的な出来形確認 (耐荷体: 拡張スケルトン周りの注入材充填状況の確認)		■			・拘束圧の小さな状況での確認であるが、水平圧入では耐荷体: 拡張スケルトン周りに均等に圧入されない可能性がある	・注入材料の充填性 ・逆に耐荷体: 拡張スケルトン周りに注入材が十分に充填されない場合や偏心状態での引抜き耐力

<開発目標> ・対象地盤：粘性土 N 値 4 程度、砂質土 N 値 10 程度 ・許容アンカー力 400kN 程度 (極限耐力 600kN 以上) ・アンカー長 10～15m 程度以内で施工が可能		実施内容	目的	実施時期			得られた成果・知見	課題点・問題点 および その時点での方向性
				H18 年度	H19 年度	H20 年度		
研究項目	研究細目							
2. 大口径耐荷体の開発	削孔口径 20cm でも挿入でき、拡張すれば約 80cm 程度に拡大できる大口径耐荷体を開発する。	⑨地中圧送試験 1 回目	<ul style="list-style-type: none"> ・地中での拡張荷重の確認 ・地中での拡張形状の確認 ・地中での圧送性の確認 ・アンカー体 (CPG 改良体) の出来形形状の確認 ・引抜き耐力の確認 	■			<拡張型スケルトン部> ・拡張径φ300のスケルトンの地中での拡張荷重は気中と同等(60kN程度)であり、拡張形状は計画とおりの星形であった。 ・φ500のスケルトンの地中での拡張形状は計画とおりの星形とならず、変形が激しかった。 ・拡張作業に手間がかかる。 <注入材> ・アンカー体 (CPG 改良体) 強度: 20N/mm ² の配合の注入材は閉塞しやすく圧入が困難である。 ↓ ・圧入圧力が3MPaを超えてくると閉塞が起きやすい ・12N/mm ² の配合の注入材は問題なく圧入可能 (圧入圧力 3MPa以下)。 ・圧入できても充填性が十分と云えず (出来形容積は圧送量の 70～90%)、充填材中のスケルトンの偏心が大きい→上下方向より左右方向が目立った (スケルトンを確実に充填できない)。 ・出来形形状はサツマイモ型。 ・改良体のコア強度は試験練り気中供試体の強度の 2 倍程度発現していた (3日, 14日養生)。 <その他> ・CPG 材料の圧入圧力により PC 鋼線が広がる (ばらける)。 ・ケーシング削孔部のボイドに対する逆流防止機能を確認しなければならぬ。 ・引抜き試験では改良体とスケルトンの付着切れ⇒スケルトンの破壊 (十分に充填されていないため) により極限荷重となった。	<スケルトン> ・支圧拘束材 (CPG 改良体への引張り荷重の伝達機構) として拡張型が必要か? ↓ ・支圧拘束材の見直し→充填性, 施工性, 応力伝達機構性など <注入材> ・セメント量が多いため高圧での圧送中に分離水が起きやすく閉塞しやすい。 ↓ ・配合の基本コンセプトは変えず混和剤 (AE 減水剤あるいは増粘剤) を使用する。 ・出来形充填性が十分でない ↓ ・袋材を用いて出来形形状を強制する→支圧拘束材との組み合わせで提案できないか? ・閉塞せず適切な圧送ができれば出来形充填性も改善できるのでは?→混和剤の使用
		⑩混和剤を用いた配合試験	<ul style="list-style-type: none"> ・圧送性改善 (高圧圧送下で閉塞しない) のための適切な混和剤の選定 	■			・単位水量の変動に対してスランプの変動が小さい混和剤として増粘剤を使用する。 ・増粘剤を添加すると圧縮強度が低下する (70%程度)。	

<開発目標> ・対象地盤：粘性土 N 値 4 程度、砂質土 N 値 10 程度 ・許容アンカー力 400kN 程度（極限耐力 600kN 以上） ・アンカー長 10～15m 程度以内で施工が可能		実施内容	目的	実施時期			得られた成果・知見	課題点・問題点 および その時点での方向性
				H18 年度	H19 年度	H20 年度		
研究項目	研究細目							
2. 大口径耐荷体の開発	削孔口径 20cm でも挿入でき、拡張すれば約 80cm 程度に拡大できる大口径耐荷体を開発する。	⑫地中圧送試験 2 回目	<ul style="list-style-type: none"> ・地中での圧送性の確認 ・アンカー一体（CPG 改良体）の出来形形状の確認 ・引抜き耐力の確認 		■		<混和剤を使用した注入材の地中圧送性> ・増粘剤は○……ただし、骨材の細粒分が少ないと×、圧縮強度が低下する→骨材の細粒分をセメントに置き換えた場合、圧入性は低下する。 ・減水剤は×……地中圧送性を高めることはできなかった <注入材の出来形> ・拡張型スケルトンを覆うように CPG 改良体を造成できない ・拡張型スケルトンの偏心が大きい <引抜き耐力> ・拡張型スケルトン周りに注入材が充填されていない場合、一体化する効果が期待できず、CPG 改良体もしくは拡張型スケルトンの破壊強度で引抜き荷重が決まってしまう。 ・改良体が破壊されると拡張型スケルトンも破壊される	<注入材の圧送性> ・骨材配合の見直し……細粒分を大きくする <CPG 改良体の出来形> ・袋材を使用し出来形を強制する→支圧拘束材を確実に充填させる（覆う） ↓ ・拡張型スケルトンにこだわらず、新たな支圧拘束材を提案する →袋材仕様……素材、形状、大きさ、縫合方法、強度、縫合部の強度、支圧拘束材との取り合い方法 など →支圧拘束材……応力伝達（CPG 改良体との付着がとれるか）
		⑬袋体の圧入試験	<ul style="list-style-type: none"> ・袋材仕様（素材、形状、大きさ、縫合方法、強度、縫合部の強度、支圧拘束材との取り合い方法）の検証 		■		<ul style="list-style-type: none"> ・支圧拘束材に取り付ける固定用バンドは PP 製テープが効果的。 ・PP 製テープによるかきめ部の強度は袋材の縫合部の破断強度以上を有する。 ・袋材への注入量は設計値 100L に対し 150L 程度注入できる。 ・楕円球体に拡大後、最大圧力 2MPa 程度で縫合部が破断する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・縫合部の強度をできるだけ強くする。
		⑭プレートの引抜き試験	<ul style="list-style-type: none"> ・新たに提案する支圧拘束材の性能確認 		■		<ul style="list-style-type: none"> ・新たに提案する支圧拘束材は CPG 改良体との付着が十分とれ、本工法に適用できることが確認できた。 	
		⑮CPG の実地盤圧入試験	<ul style="list-style-type: none"> ・新たな配合の注入材の圧送性の確認 		■		<ul style="list-style-type: none"> ・骨材の細粒分を増やすことで増粘剤を用いずに安定して圧送できた。 	
		⑯袋耐荷体の引抜き試験	<ul style="list-style-type: none"> ・荷重の伝達特性の把握 			■	<ul style="list-style-type: none"> ・1 回目……2 ケースとも PC 鋼線破断（ターン部） ↓ ターン部 R および剛幅の改善 	

<開発目標> ・対象地盤：粘性土 N 値 4 程度、砂質土 N 値 10 程度 ・許容アンカー力 400kN 程度（極限耐力 600kN 以上） ・アンカー長 10～15m 程度以内で施工が可能		実施内容	目的	実施時期			得られた成果・知見	課題点・問題点 および その時点での方向性
				H18 年度	H19 年度	H20 年度		
研究項目	研究細目							
3. 模擬地盤での試験施工	上記 1. および 2. の試験を行い、実際のアンカー削孔機で試験施工を行い、その改良を行う。	①地中圧送試験 3 回目	・袋材を用いた耐荷体の地中充填性の確認……出来形確認			■	<ul style="list-style-type: none"> ・袋材を用いた耐荷体は支圧拘束材を十分に覆うように注入材の充填が可能。 ・細粒分を増やした配合の注入材は問題なく圧入できた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・袋材仕様の再検討 ・袋材と支圧拘束材の取り合いの工夫 ・袋材折り畳み方法および折り畳み時の太さ
		②野外ピットの実機試験	<ul style="list-style-type: none"> ・実機を用いた施工を行い、一連の施工性の確認 ・袋耐荷体の出来形確認 ・引抜き耐力の確認 			■	<ul style="list-style-type: none"> ・袋耐荷体内への注入材の充填は、掘り返し後の出来形測定の結果、ほぼ計画とおりの充填が確認できた。 ・引抜き耐力は各条件に対する試算値をほぼ満足できた。 ・実地盤へ打設したケース（鉛直）では、アンカー一体としての目標引張り強度＝極限荷重 600kN を満足し、鋼線が先に破断した。 ・各々の施工性や個別の作業性などには改善の余地が大きい。 	
4. 現場試験	実際の土砂地盤で試験施工を行い、耐力、施工性							

2. 2 注入材

2. 2. 1 開発目標

CPG アンカーに使用する注入材料として、通常のグラウンドアンカー工に用いるセメントミルクと同等程度の圧縮強度（ 18N/mm^2 ）で、スランプの小さな状態でも地盤内に問題なく圧送することができるワーカビリティを有し、地盤中で $\phi 700\text{mm}$ 程度の造成径を確保しながら、ある程度の均一な出来形を形成することができる材料配合が求められた。

以上の条件を満たす注入材の配合を、コンパクショングラウチング(CPG)工法の配合の基本条件を元にして開発を行った。

2. 2. 2 配合の基本条件

CPG アンカー工法で使用する注入材は、骨材、固化材および水で構成されている。コンパクショングラウチングが効果を発揮するためには、注入材が浸透や脈状に注入されることなく注入点付近で地盤を押し広げて充填固結する必要がある。このために低流動性のモルタルを注入材として使用している。しかしながら、その低流動性に起因する注入ホースや注入ロッド内の圧力損失、注入材からの脱水による管内閉塞といった施工性の問題を有している。そのため、適切な量の礫分と細粒分を専用に配合した骨材（CPG アンカー骨材と呼ぶ）を使用する必要がある。

CPG アンカー骨材の粒度組成は、図-2.1 に示す最適粒度分布範囲とし、かつ、特定の粒径に分布が集中しておらず、上限および下限のラインにおおむね平行であることを基準とした。

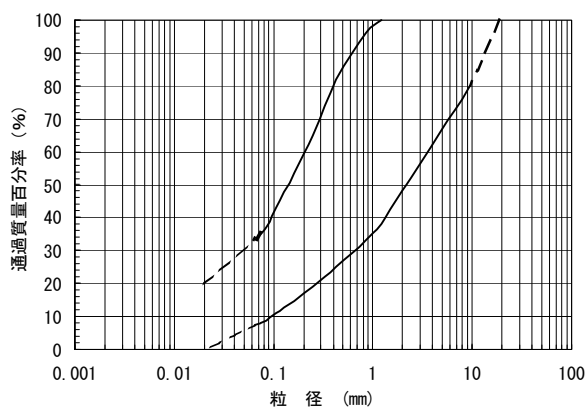


図-2.1 CPG アンカー骨材の最適粒度分布範囲



図-2.2 CPG アンカー骨材 (例)

2. 2. 3 配合実験経過

- 高強度配合の提案～試験

従来のコンパクショングラウチング工法における材料の標準配合では、 $3 \sim 5 \text{ N/mm}^2$ 程度の圧縮強度しか期待することができない。CPG アンカー工法で用いる注入材は、一般的なグラウンドアンカー工の注入材（セメントミルク）と同等な圧縮強度が必要なことから、従来の標準配合の内、細粒分である粘土分をセメント分に置き換えて、高強度の期待ができる配合を提案した。

セメント分も細粒分とみなせると考え、材料全体における細粒分の割合は従来の配合と同等であるとみなし、骨材比率の細粒分比率を小さくし、粗骨材比率を大きくした。

上記の配合にて、実際に地盤内への注入試験を行った結果、特にセメント分の多いケースにおいて、注入管の閉塞が頻繁に生じ、注入材料の圧送が困難であった。（⑨地中圧送試験 1 回目【step1】）

- 混和剤を用いた材料の試験

高強度配合の材料を見直すに当たり、一定の強度を保持しつつ、圧送性も要求されることから、新たに混和剤を加えた配合を計画した。

圧送性を改善する為には、単位水量の変動に対して、スランプの変動が小さいものが望ましいことから、増粘剤を用いて配合して圧送試験を行った。

しかし、以前より多少の圧送性の改善は見られたものの、圧縮強度を確保することが困難で、閉塞の問題も完全にクリアすることはできなかった。（⑫地中圧送試験 2 回目【step2】）

- 高強度配合の再提案

混和剤を添加しても、圧縮強度の確保や、一定の圧送性を保持することができなかったことから、骨材の配合と単位セメント量の見直しを行った。（⑰地中圧送試験 3 回目【step3】）

結果、所定の強度を維持しつつ、圧送性の問題も改善された。

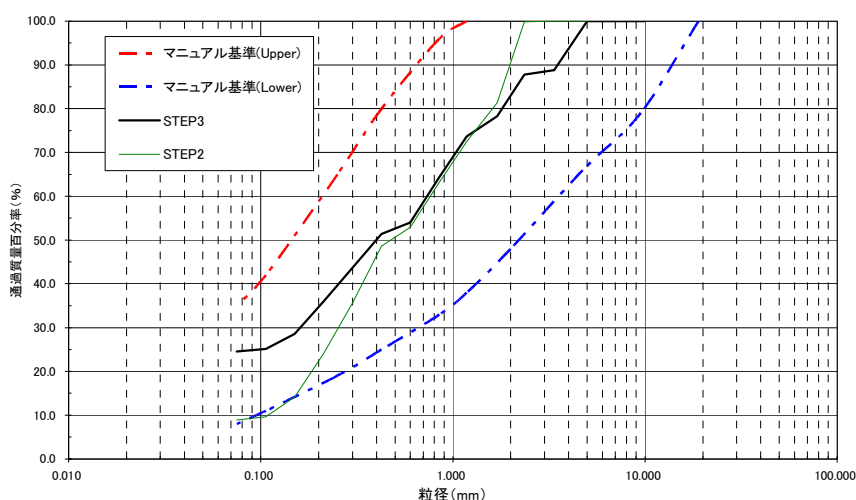


図-2.3 配合実験における CPG アンカー骨材の粒度分布

2. 2. 4 実験ケース一覧

注入材の配合実験におけるケース一覧を表-2.4 に、配合別の骨材粒度分布を図-2.4 に記す。

表-2.4 配合実験ケース一覧

実施時期	CASE	配合(Kg/m ³)											圧縮強度(N/mm ²)				スランブ (cm)	圧送性			
		特殊骨材配合パターン										早強 セメント	水	混和剤	呼び強度	試験結果					
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J					合計			標準養生	コア採取	
H18 年度	④簡易引抜試験1回目	CASE-1	○										1,790	210	270	-	8	5.3(σ3)		4.5	-
		CASE-2		○									1,750	265	268.3	-	12	8.4(σ3)		4.5	-
		CASE-3			○								1,725	335	263.3	-	20	13.2(σ3)		4.5	-
	⑤簡易引抜試験2回目	CASE-4	○										1,790	210	270	-	8	6(σ3)		4	-
		CASE-5		○									1,750	265	268.3	-	12	9.7(σ3)		5.5	-
		CASE-6	○										1,790	210	270	-	8	5.3(σ3)		4.5	-
	⑦CPG気中圧送試験	CASE-1		○									1,750	265	268	-	12	10(σ3)		5	○
		CASE-2			○								1,725	335	263	-	20	-		5	○
		CASE-3				○							1,625	505	245	-	30	37.6(σ3)		6	○
	⑨地中圧送試験1回目 (step1)	CASE-3			○								1,725	335	263	-	20			8.5	-
		CASE-4			○								1,725	335	263	-	20	-		4	×
		CASE-5			○								1,725	335	263	-	20	-		5	×
CASE-6			○									1,750	265	268	-	12	-		5	○	
V-1		○										1,790	210	272	-	8	-		4.5	○	
V-2				○								1,725	335	261.5	-	20	-		4.5	×	
S-1			○									1,750	265	268	-	12	9.4(σ3) 14.4(σ14)	27.4(σ14)	6.5	○	
S-2				○								1,725	335	267.2	-	20	-		13.5	×	
H19 年度	⑫地中圧送試験2回目 (step2)	C-1				○						1,780	350	230	減水剤	20			4.5	×	
		C-2						○				1,730	400	230	増粘剤	20	13.7(σ3)		8	×	
		C-3							○			1,740	340	250	増粘剤	20			5	○	
		C-4								○		1,740	340	250	増粘剤	20	13.6(σ3)		7.5	○	
		C-5									○	1,740	340	250	増粘剤	20			7	×	
		C-6									○	1,740	340	250	増粘剤	20			6	○	
		C-7									○	1,740	340	250	増粘剤	20			5.5	×	
	⑬CPGの実地盤圧入試験	CASE-1									○	1,740	340	250	増粘剤	20	13.7(σ3) 18.1(σ48)	34.1(σ48)	5.5	○	
		CASE-2									○	1,740	340	250	増粘剤	20			5.5	○	
		CASE-3-1									○	1,740	340	250	増粘剤	20			4.5	×	
		CASE-3-2	○									1,790	210	270	無	8			4.5	○	
		CASE-4-1									○	1,740	340	250	増粘剤	20		14.4(σ20)	7	×	
		CASE-4-2	○									1,790	210	270	無	8	7.1(σ4)		4.5	×	
		CASE-5									○	1,740	340	250	増粘剤	20	16.7(σ5)		5	×	
		標準									○	1,700	200	300	-	8	5.4(σ3)		7.0以下	○	
⑰地中圧送試験3回目 (step3)	高強度									○	1,600	400	340	-	20	17(σ3)		7.0以下	○		
	標準									○	1,700	200	300	-	8			7.0以下	○		
	高強度									○	1,520	380	320	-	20			7.0以下	○		
	簡易引抜試験(1)									○	1,520	380	320	-	20	18.7(σ5)		7.0以下	-		
H20 年度	⑱野外ピットの実機試験	高強度								○	1,520	380	320	-	20	18.4(σ5) 20(σ7)	17(σ7)	7.0以下	○		

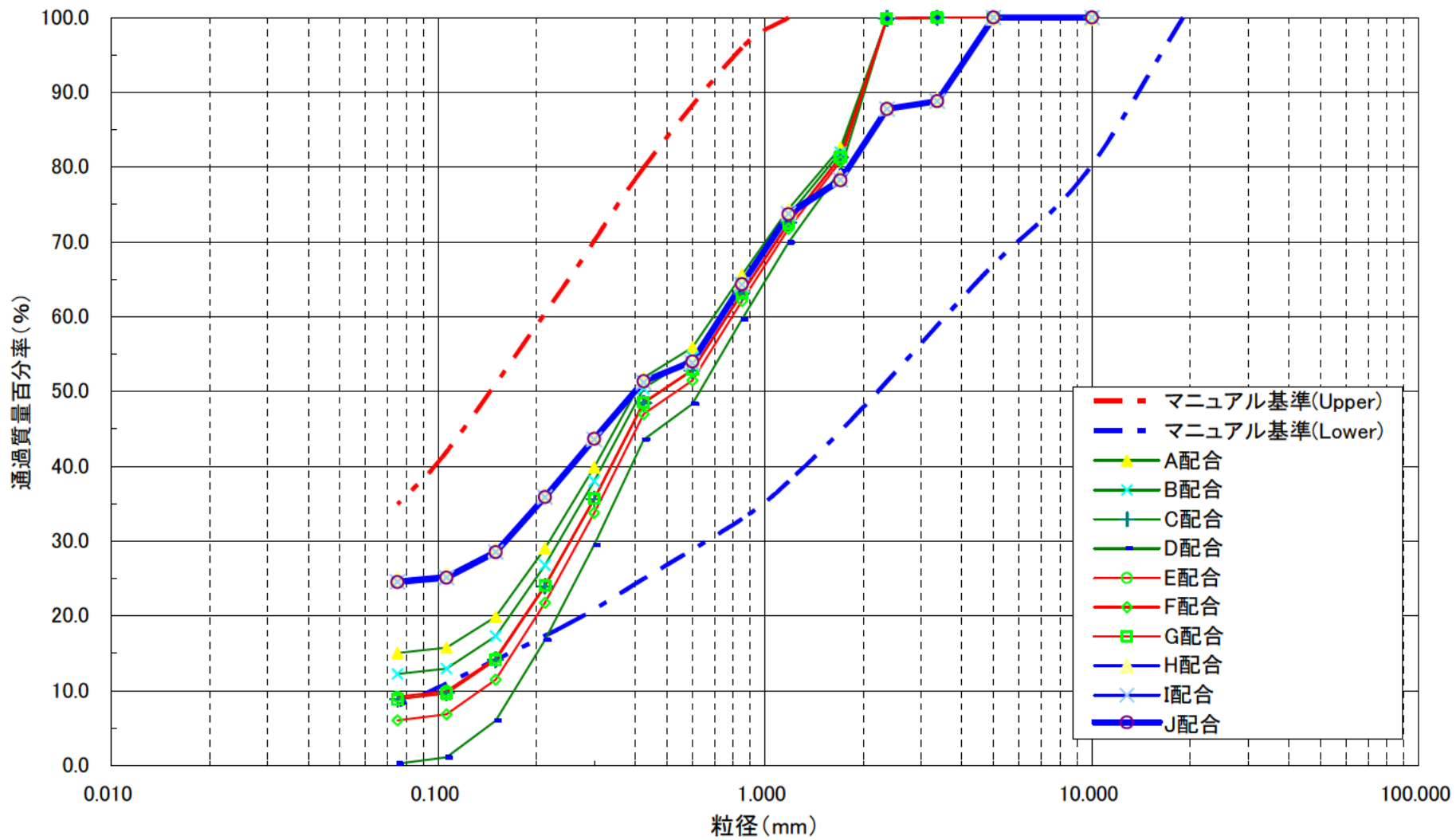


図-2.4 配合別骨材粒度分布図

2. 2. 5 決定注入材配合

配合実験により得られたデータより、表-2.5 に示す配合を CPG アンカー工法における注入材の標準配合とする。

表-2.5 注入材の標準配合 (1m³あたり)

材 料	配合量	備 考
CPG アンカー骨材	1,520kg	絶乾状態
早強セメント	380kg	
水	320kg	スランプ値により調整

注入材の水分量はスランプ試験により管理され、7cm 以下を管理値とする。品質管理値を表-2.6 に、最適粒度分布図を図-2.5 に示す。

表-2.6 注入材の品質管理値

管理項目	管理値
スランプ値	3~7cm
圧縮強度	$\sigma = 18 \text{ N/mm}^2$ 以上

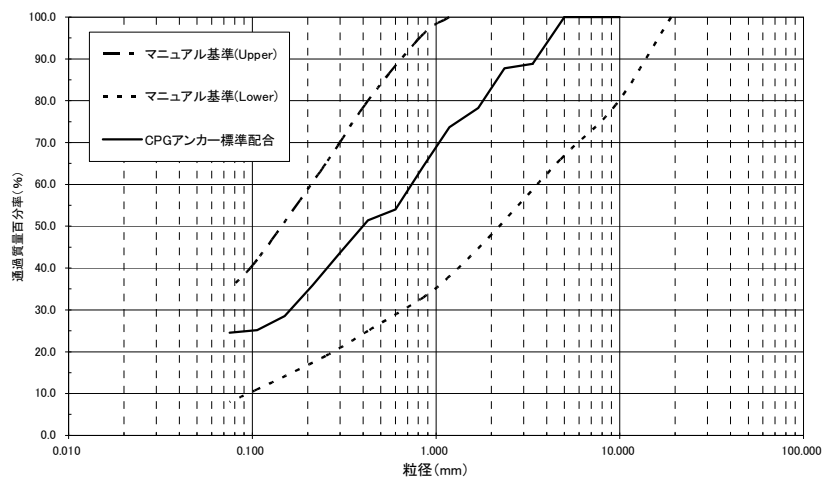


図-2.5 CPG アンカー工法の標準配合骨材粒度分布

2. 3 耐荷体

2. 3. 1 目的

耐荷体とは、引張り材に作用する荷重をアンカー体へ伝達するための構造部材であり、引張り材を拘束する機能も有する。従来のグラウトアンカーに用いられている耐荷体は、引張り型と圧縮型に分けられる。引張り型は、主として耐荷体とグラウトの摩擦力により荷重を伝達する構造であり、圧縮型は、主として支圧による圧縮力により耐荷体からグラウトへ荷重が伝達される。また、大きな引抜耐力が必要な場合には、1つの耐荷体が負担できる荷重には限界があるため、複数個の耐荷体をグラウト内に配置する荷重分散型という手法がとられている。

一方、本工法で造成されるCPGアンカーの特徴は、グラウト体長2.0m程度、グラウト体径700mmと従来のアンカーに比べて、短いアンカー長でありながら、極限引抜耐力600kNという大きな引抜耐力が必要である。この要求性能を満たすためには、従来の耐荷体を単体で配置することは困難であり、複数個を配置するにしても、その結果アンカー体長を長くする必要が生じる。そのため、新たな耐荷体の開発が必要となった。

本工法における耐荷体の開発目標は、「アンカー体先端部に、削孔径以上に拡大する耐荷体を配置する」というものである。これは、図-2.6 に示すように、アンカー体の先端部に大径のアンカープレート（耐荷体）を配置するイメージである。このような耐荷体構造を採用することにより、引張り材に作用する大きな荷重を効率よくグラウト体へ伝達することが可能になる。また、グラウトと地盤の付着抵抗の効果においても、アンカー体先端部からの引抜き抵抗力が期待できる。

以下に耐荷体の開発目標を記す。

- ① 極限引抜力600kNをCPGによって造成されるグラウト体に伝達できる構造である。
- ② 仮設の除去式アンカーとして、供用後にPC鋼より線を除去できる構造である。
- ③ 耐荷体の造成およびその後のCPG圧入が支障なく施工できる構造である。
- ④ 耐荷体としての出来形が満足でき、かつ、施工時に出来形管理ができる構造である。

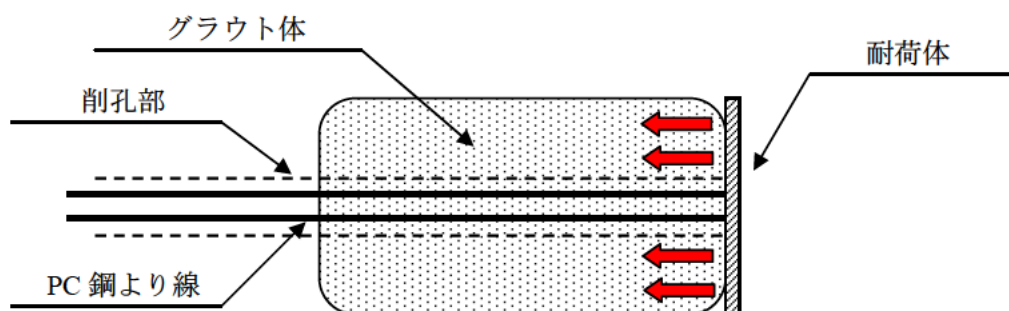


図-2.6 開発する耐荷体のイメージ図

2. 3. 2 スケルトン型耐荷体

(1) スケルトン型耐荷体の特徴

前項で記した開発目標に対し、スケルトン型耐荷体（以下、スケルトン）を試作し検証した。スケルトンは、以下の部材から構成される。

- a) $\phi 13\text{mm} \times 8$ 本の丸棒
- b) $\phi 13\text{mm} \times 4$ 本の丸棒（ストッパー）
- c) 両端部を固定するリング
- d) PC 鋼より線を設置する先端ターン部

試作した耐荷体の構造図と写真を図-2.7、写真 2-1 にそれぞれ示す。耐荷体を構成する $\phi 13\text{mm} \times 8$ 本の丸棒の中央部には切欠きが設けてあり、圧縮することにより切欠き部で座屈が生じ、削孔内で傘のように拡大する構造である。

スケルトンを用いた CPG アンカーの施工手順を図-2.8 に示す。施工は、①削孔→②スケルトンと CPG 圧入管の挿入→③スケルトンの拡大→④CPG 圧入によるグラウト体造成という手順をとる。まず所定の深度までケーシング削孔を行い、PC 鋼より線を取り付けたスケルトン型耐荷体を削孔部へ挿入する。このとき、スケルトン型耐荷体の削孔口側には CPG 圧入管が接続されており、圧入管を継ぎ足しながら所定の深度まで挿入する。その後、圧入管を反力として PC 鋼より線を油圧ジャッキで引っ張ることで、スケルトンを拡大させる。スケルトン拡大後は、圧入管を CPG ポンプにつなぎ、圧入とステップアップを繰り返しながらグラウト体を造成する。

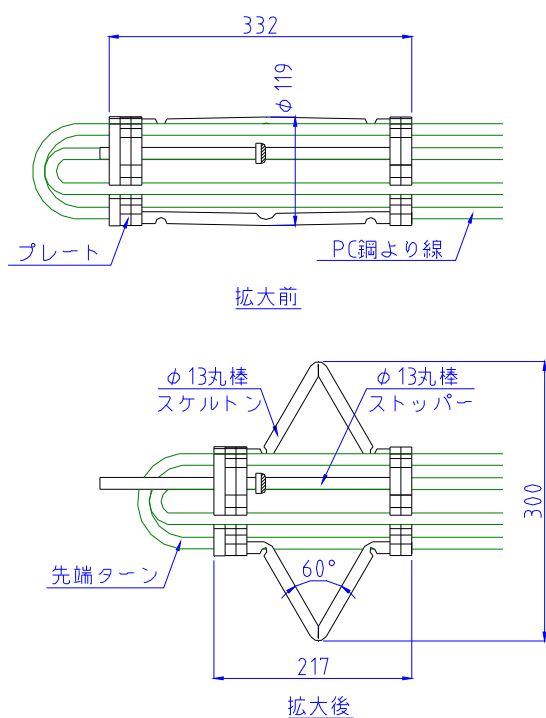
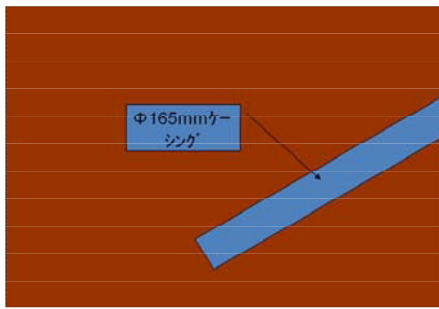


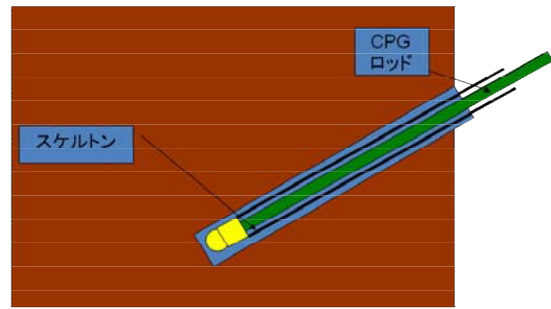
図-2.7 スケルトン構造図



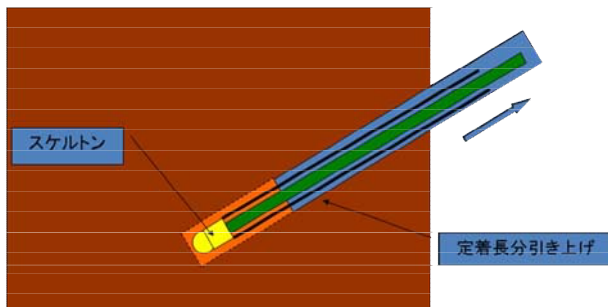
写真-2.1 スケルトン



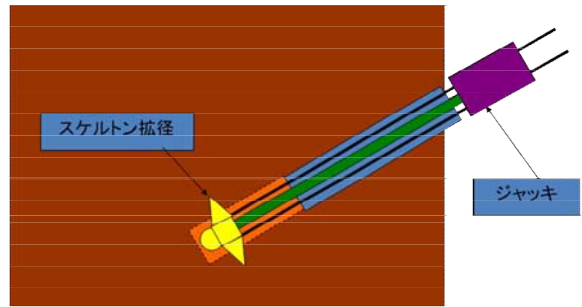
① Φ165mm ケーシング削孔



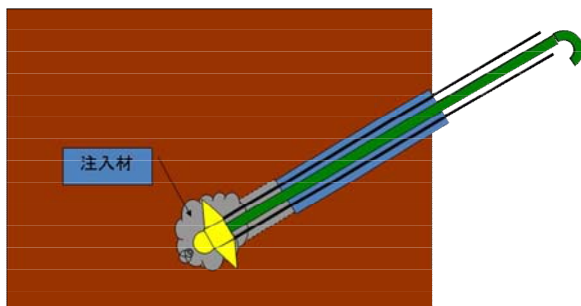
② スケルトン・CPG ロッド挿入



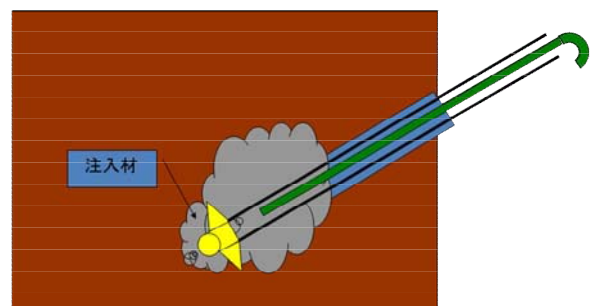
③ ケーシング引き上げ



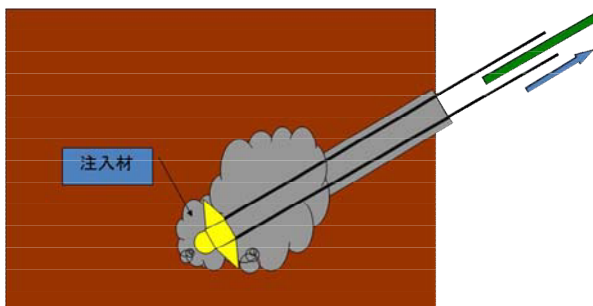
④ スケルトン拡張



⑤ CPG 注入(第1ステップ)



⑥ CPG 注入(ステップアップ)



⑦ ケーシング撤去・自由長部充填

図-2.8 スケルトンを用いた CPG アンカーの施工手順

(2) スケルトン型耐荷体の検証結果のまとめ

スケルトンの検討項目と結果の一覧を表-2.7に示す。

表-2.7 スケルトンの検討項目と結果一覧表

検討項目	検証試験	結果	考察
スケルトン単体強度	① 圧縮試験	標準仕様では 180kN で 圧縮破壊	<ul style="list-style-type: none"> ・ ストッパーの強度に依存する。 ・ 実際には、周囲にグラウトが打設されるため、600kN の強度は必要ない。
スケルトン拡大性能	② 気中・地中拡大試験	拡大径 $\phi 300$ の供試体 は気中・地中とも 60kN 以下の荷重で支障なく 拡大	<ul style="list-style-type: none"> ・ 拡大時の荷重と変位を管理することで出来形の管理ができる。 ・ 反力管として用いる CPG 圧入管の座屈の問題はない。
スケルトン引抜強度	③ 簡易引抜試験	最大引抜荷重 650kN で グラウト体が破壊	<ul style="list-style-type: none"> ・ 極限引抜荷重 600kN をクリアするためには、以下の条件が必要である。 <ul style="list-style-type: none"> - グラウト強度が 10N/mm² 以上 - グラウトのかぶりが確保されている。 - $\phi 15.2 \times 4$ 本の PC 鋼より線を使用する。 ・ グラウト体がスケルトン拡大部に沿ってコーン状に破壊したことから、スケルトンが拡大径相当の支圧板の機能を果たしたことが伺える。
スケルトンとグラウト 体の出来形	④ 地中圧入試験	グラウトのかぶりが全 くない部分がある。	<ul style="list-style-type: none"> ・ CPG によって造成されるグラウト体は地盤内の拘束の弱い方向へ一方的に発達する傾向があるため、偏心が生じる。 ・ CPG の出来形をコントロールするための構造の見直しが必要。
アンカー体としての引 抜強度	④ 地中圧入試験	極限引抜荷重 380kN で アンカー体が引き抜け	<ul style="list-style-type: none"> ・ スケルトンと CPG の偏心が大きいため、荷重の伝達力が低減される。 ・ スケルトン周りのグラウトの充填が十分でない場合は、180kN 以上でスケルトンが破壊する恐れがある。
PC 鋼より線除去性能	④ 地中圧入試験	20kN 程度で除去可能	<ul style="list-style-type: none"> ・ 問題なく除去できることを確認

上の表で挙げた検証試験①～④の概要について、次項で説明する。

(3) スケルトン型耐荷体の圧縮試験

目的)

スケルトンの仕様を決めるための第1段階として、いくつかの試作を行い、単体の圧縮試験を実施した。スケルトンの引抜強度を左右する要因としては、①拡大径、②スケルトンの本数、③鉄筋径、④ストッパーの強度と本数が考えられる。また、最終的に製造されたものが所定のケーシング内に収まる寸法であることも重要である。そこで、表-2.8 に示すスケルトンを実験ケースとして試作した。

表-2.8 実験ケースと試験結果

ケース	拡大径(mm)	ストッパー本数(本)	ストッパー径(mm)	拡大荷重(kN)	破壊荷重(kN)
1	300	0	-	54.5	-
2	500	0	-	36.4	-
3	300	4	φ13	57.8	179.7
4	500	4	φ13	38.7	159.1
5	300	4	φ22	46.2	427.5
6	500	4	φ22	33.5	421.0

試験方法)

試験は一軸の圧縮試験装置を用いて、一定変位速度で拡大前のスケルトンに圧縮荷重を与えた。得られた変位と荷重の関係からスケルトンの拡大荷重と強度特性について考察を行った。

試験結果と考察)

圧縮試験の一例として、ケース3の荷重-変位曲線を図-2.9に示す。また、そのときの状況を写真-2.2、写真-2.3に示す。圧縮荷重を受けたスケルトンは約60kNの荷重で座屈が生じる。その後、変位の増加に伴い荷重が減少する。この状態がスケルトンが拡大している状態である。そして、変位が125mmに達した以降、荷重が増加する。このとき、スケルトンは拡大が終了している状態であり、ストッパーが機能している。最終的には180kNでストッパーの座屈が生じ、スケルトンが破壊に至る。

破壊荷重は表-2.8の実験ケースに合わせて記している。ここでの破壊荷重はアンカー体としての目標の極限荷重は600kNを満足していない。しかし、実際にはスケルトンの周囲にはグラウトが充填されているため、荷重がグラウトへ分散されることが考えられる。すなわち、引抜荷重600kNが作用した際に、ストッパー部に180kN以上の荷重が作用することが考えにくいため、ここでは、ケース3とケース4を今後の検討に用いる標準的な仕様として決定した。

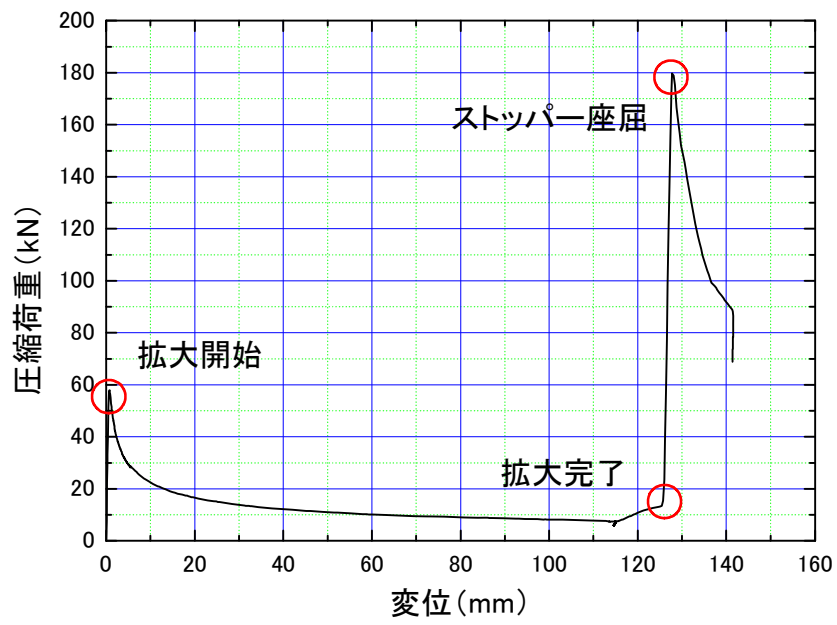


図-2.9 圧縮試験結果 (ケース 3)



写真-2.2 115mm 変位時(ケース 3)



写真-2.3 140mm 変位時 (ケース 3)

(4) スケルトン型耐荷体の気中・地中拡大試験

目的)

スケルトンの拡大は、スケルトン端部に設置された CPG 圧入管を反力として、スケルトン先端部で交差して設置されている PC 鋼より線を引き抜くことで行われる。

検証項目としては次の事項が挙げられる。

- a) 上記の仕組みで拡大できるかどうかの基本的な検証
- b) 反力管として用いる CPG 圧入管が長くなった場合に、座屈が生じないか
- c) 地盤の拘束圧を受ける状態で拡大可能か

そこで、気中および地盤内において、スケルトンの拡大試験を実施した。

試験方法)

油圧ジャッキの反力を耐荷体に確実に伝達するために次のような工夫を行った。まず、耐荷体と圧入管の取り合いについては、圧入管の先端側に写真-2.4 に示すように受圧面を設け、スケルトン端部と接することで反力を伝達できる構造とした。また、削孔口側では、圧入管と PC 鋼より線 4 本を通すことができるアンカープレートを用意し、油圧ジャッキからアンカープレートを通じて圧入管に反力を伝達する構造とした。各試験では、拡大荷重と油圧ジャッキの変位量を計測した。気中拡大試験および地中拡大試験の状況を写真-2.5～写真-2.7 に示す。



写真-2.4 圧入管先端部



写真-2.5 気中拡大試験 (全景)



写真-2.6 気中拡大試験 (先端側)



写真-2.7 気中拡大試験 (削孔口側)

試験結果と考察)

表-2.9 に実施した試験ケースを記す。ケース 1~3 は気中における拡大試験であり、それぞれのケースでは反力管の長さを変えて実験を行っている。反力管が長くなると座屈を引き起こすことが懸念されたが、すべてのケースにおいてこのような問題は見られず、正常に拡大が行われた。この要因の一つとして、反力管の周囲に配置されている引張り力が作用した PC 鋼より線が反力管の変形抑止に寄与したことが考えられる。

ケース 4,5 は地盤内における拡大試験である。N 値 10 相当の砂地盤に鉛直に 4.0m 削孔し、その中に挿入して拡大を行った。ここでは、拡大径 $\phi 300$ と $\phi 500$ の 2 つのスケルトンに対して実験を行った。写真-2.9 に示すように、拡大径 500mm (ケース 5) において、ストッパー機能以上に荷重をかけたため、スケルトンが圧縮破壊するという結果となった。ケース 4 においては支障なく拡大が行われた。試掘後のケース 4,5 の出来形写真を写真-2.8, 写真-2.9 に示す。

拡大試験の荷重-変位曲線の代表として、ケース 4 の結果を図-2.10 に示す。図-2.10 を見ると、圧縮試験結果と同様に、拡大時にはスケルトンを座屈させるため比較的大きな荷重が必要となる。しかし、拡大が始まると荷重が低下し、安定して拡大が進行する。拡大が完了するとストッパーが変形を抑止し荷重を負担するため、荷重が増加する。拡大時の荷重-変位特性にはこのような特徴があるため、荷重-変位関係を管理することで、拡大が適切に行われているかどうか管理することができる。

表-2.9 拡大試験 試験ケース

ケース	試験種別	拡大径	圧入管長さ	拡大性能
1	気中	300	5m	○
2	〃	〃	10m	○
3	〃	〃	15m	○
4	地中	300	4m	○
5	〃	500	〃	×



写真-2.8 ケース 4 出来形



写真-2.9 ケース 5 出来形

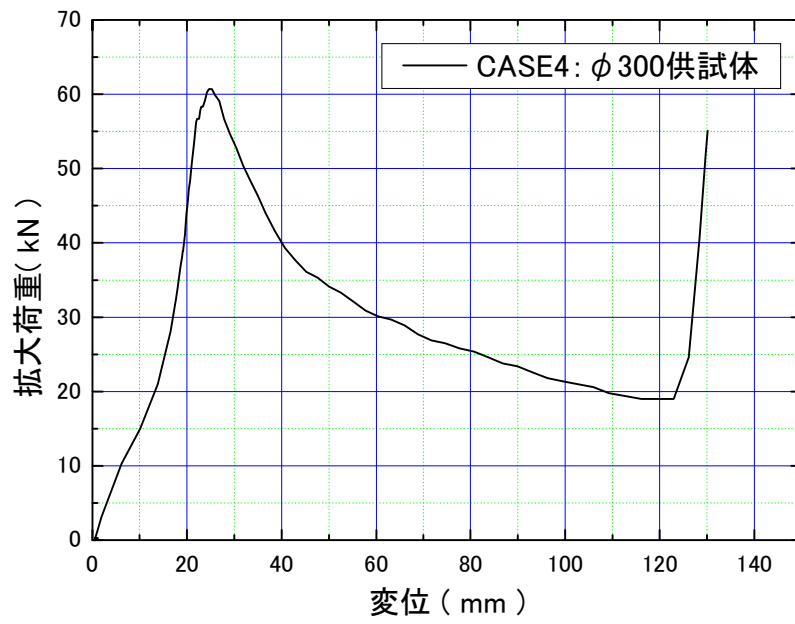


図-2.10 拡大荷重-変位図 (ケース 4)

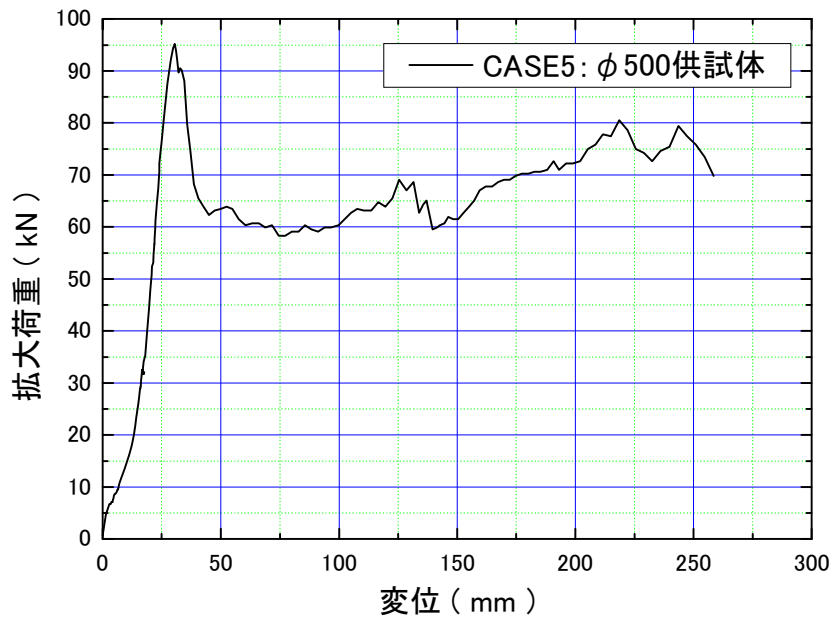


図-2.11 拡大荷重-変位図 (ケース 5)

(5) スケルトン型耐荷体の簡易引抜試験

目的)

簡易引抜試験は、耐荷体からグラウトへの荷重伝達性能および耐荷体とグラウトの間における破壊形態を検証するための試験である。実際に造成されるアンカー一体を想定し、耐荷体周りにグラウトを打設し、グラウトを反力として耐荷体の引抜試験を行った。実験ケースは、スケルトン径、配合強度およびPC鋼より線の径を変えて、合計6ケースとした。

簡易引抜試験の目的を以下に記す。

- a) スケルトンの引抜強度と破壊形態の確認
- b) スケルトンからグラウトへの荷重伝達機構の確認（スケルトン部にひずみゲージ貼付）
- c) 効果的な耐荷体寸法と改良体強度の組合せの確認

試験方法)

試験は次の手順で行った。

- ① $\phi 700\text{mm} \times \text{L}1500\text{mm}$ の円形型枠（ボイド管）を準備し、予め拡張したスケルトンを型枠内に配置した。スケルトンには、PC鋼より線が4本取り付けてあり、型枠上部で固定した。
- ② 粒度調整を行った細骨材、セメント、水をパドルミキサーで練り混ぜ、型枠内に打設し、供試体を作成した。モルタルの配合は、実際のCPGと同様にスランプ5cmとなるように単位水量を調整した。
- ③ 3日間の養生後、脱型を行った。
- ④ 供試体上部に反力板を設置し、供試体を反力とした引抜試験を実施した。
- ⑤ 荷重は段階荷重100kNの多サイクル荷重とし、引抜変位および引抜荷重を計測した。
- ⑥ 引抜試験後、供試体を解体し、スケルトンの状態を観察した。

供試体の構造図と実験時の写真を図-2.12、写真-2.10にそれぞれ示す。

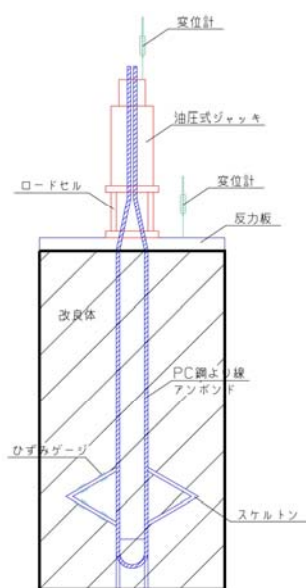


図-2.12 供試体構造図



写真-2.10 簡易引抜試験 試験状況

実験結果と考察)

実験ケースと実験結果の一覧を表-2.10 に示す。

表-2.10 簡易引抜試験 試験ケース

ケース	スケルトン径	引張り材規格	配合強度	破壊荷重	破壊箇所
1	φ 300	φ 12.7×4	5.3	477	PC鋼より線
2	〃	〃	8.4	449	〃
3	〃	〃	13.2	496	〃
4	〃	φ 15.2×4	6.0	564	グラウト体
5	φ 500	〃	9.7	680	〃
6	〃	〃	5.3	498	〃

※《PC 鋼より線 7 本より線 B 種》

φ 12.7mm : 0.2%伸び荷重 156kN 以上, 引張り荷重 183kN 以上
φ 15.2mm : 0.2%伸び荷重 222kN 以上, 引張り荷重 261kN 以上

破壊形態は、ケース 1~3 では PC 鋼より線が破断、ケース 4~6 ではグラウト体が破壊した。ケース 1~3 の破壊荷重は 450kN~500kN と当初想定していた破壊荷重に比べて小さいものであった。これは、PC 鋼より線を先端でターンさせることにより強度が低減されたこと、特に先端部で十字にクロスされた 2 本の鋼線が接触し、素線には引張り力のほかにせん断力が作用したことが原因と考えられる。この結果から、ケース 4~6 では、PC 鋼より線の規格を見直した。

極限荷重 600kN 以上を確保できたのは、ケース 5 のみであった。ケース 4,6 では、スケルトン径を変えて実験を行っているが、破壊荷重に大きな違いは見られなかった。改良体の破壊は、スケルトンの先端側鉄筋に沿ったコーン状の破壊であり、さらにその上側には縦割れが生じた。拘束が小さいため、軸方向への圧縮に伴い側方向への引張り力が卓越し破壊が生じたと考えられる。試験後のスケルトンには大きな破壊は見られなかったが、鉄筋に若干の塑性変形が見られた。

本実験の結論として、極限荷重 600kN をクリアするために言えるのは次のことである。

- a) グラウト強度は 10N/mm² 以上必要である。
- b) スケルトン拡大径は φ 300mm で機能している。
- c) PC 鋼より線は、φ 15.2mm×4 本が必要である。

参考として、ケース 1 およびケース 4 の荷重-変位曲線を図-2.13、図-2.14 に、ケース 5 の実験後の写真を写真-2.11 に、それぞれに示す。

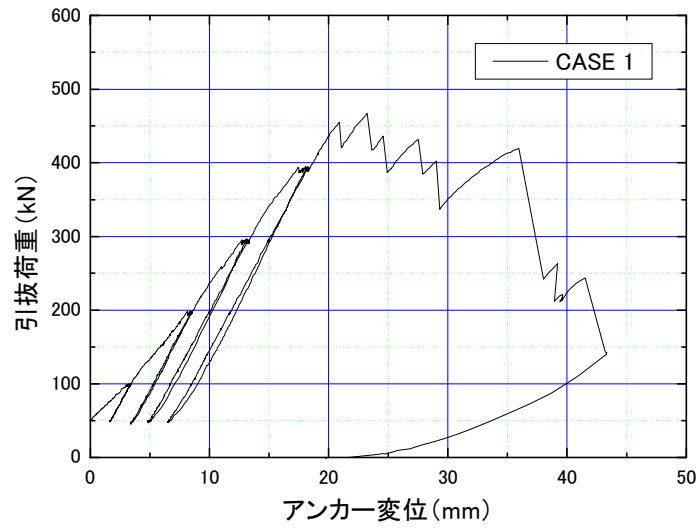


図-2.13 荷重-変位曲線 (ケース 1)

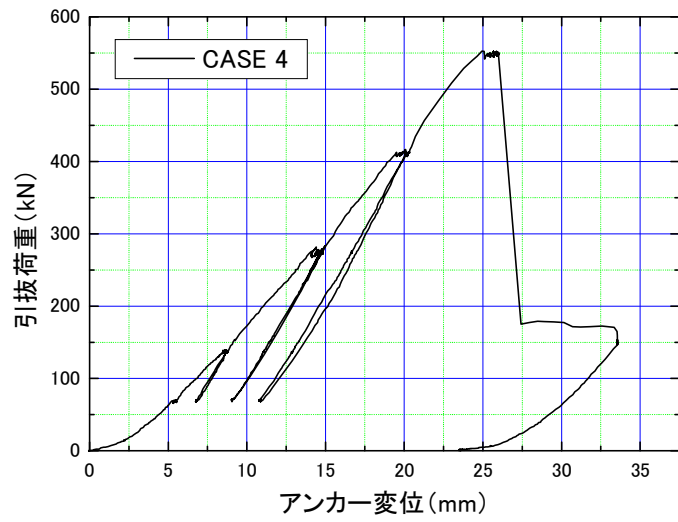


図-2.14 荷重-変位曲線 (ケース 4)



写真-2.11 引抜試験後の状況

(6) スケルトン型耐荷体の地中圧入試験

目的)

地中圧入試験では、(独) 土木研究所の土工実験棟のロングピットにて、高さ 4.0m の盛土地盤を作成し、スケルトンの挿入から、スケルトン拡大、CPG によるグラウト体の造成、引抜試験という一連の作業を行った。本実験の目的は次のとおりである。

- a) スケルトンとグラウト体の出来形の確認
- b) スケルトンとグラウト体およびグラウト体と地盤の引抜強度の確認
- c) 一連の施工性の確認

実験方法)

① (独) 土木研究所の土工実験棟のロングピットにて、高さ 4.0m、幅 5.0m、延長約 15m の盛土地盤を作成した。用いた盛土材料は山砂で、盛土作成後の貫入試験結果から、N 値 10 程度の地盤であることを確認した。

② 盛土地盤に、45° 方向に削孔を行い、塩化ビニル管 (VU-125) をケーシングとして挿入した。削孔長は約 5.5m である。

③ ケーシングを 1.0m 引き上げ、スケルトンと圧入管を継ぎ足しながら、削孔先端部まで挿入した。

④ 削孔口の圧入管にアンカープレートを当て、PC 鋼より線を引き抜き、スケルトンの拡大を行った。

⑤ 圧入管と CPG ポンプの経路を確保し、所定量の CPG を注入した。

⑥ その後は、ステップアップと注入を繰り返した。

⑦ 3 日以上養生を行い、引抜試験を行った。

⑧ 試掘を行い、出来形の確認を行った。



写真-2.12 地盤作成状況



写真-2.13 スケルトン拡径状況



写真-2.14 注入状況



写真-2.15 引抜試験状況

実験結果と考察)

地中圧送試験の最大の課題は、スケルトン周りにグラウト体が均等に造成されるかどうかであった。スケルトンとグラウト体の間に偏心がなければ、極限荷重 600kN の引抜荷重がスケルトンに作用しても、破壊を生じることなくグラウト体に伝達されることが簡易引抜試験の結果から確認されている。また、偏心が小さいということは、グラウト体が全体として均一な荷重を受け持つため、地盤との間の引抜抵抗力を発揮する上でも重要である。

代表的な実験の出来形としてケース 1 の結果を図-2.15 に示す。先の課題に対して実験の結果は、許容できないほど大きな偏心が生じた。スケルトンに対し、グラウトが鉛直上方向へ発達して形成されているのが見て取れる。同様な傾向は図-2.16 に示したケース 2 の試験結果からも確認できる。スケルトンにはグラウトの被りが全く確保できていない部分があるため、引抜試験ではスケルトンとグラウト体の間における破壊が目立つとともに、偏心が大きいため地盤とグラウトの付着も想定していた引抜荷重を満足できなかった。本実験におけるアンカー体の極限荷重は、目標としている極限荷重 600kN をはるかに下回るものであった。

本実験の考察を以下に箇条書きでまとめる。

- ・ スケルトン単体の圧縮強度は 180kN であるため、グラウトの被りが確保されなければ、スケルトンは極限荷重 600kN に至る前に破壊する。
- ・ スケルトン先端部に配置されているプレートが障害となり、グラウトが先端側に回らない。
- ・ CPG は、地盤内の拘束の弱い方向へ一方的に発達するため、出来形のコントロールが困難である。
- ・ 一方向へ限定的に注入する竹割り構造の吐出口を備えた圧入管を作成し、段階的に回転させながら圧入を行ったが、効果的な出来形の改善には至らなかった。
- ・ 出来形の偏心が大きかったのは、土槽の影響、土被りが小さいという実験条件の要因も考えられる。特に土被りが小さいために、鉛直上方向へ材料が流動する傾向が大きかった。

以上の考察を踏まえて、耐荷体の抜本的な構造の見直しを行った。次項では、「袋型耐荷体」について述べる。

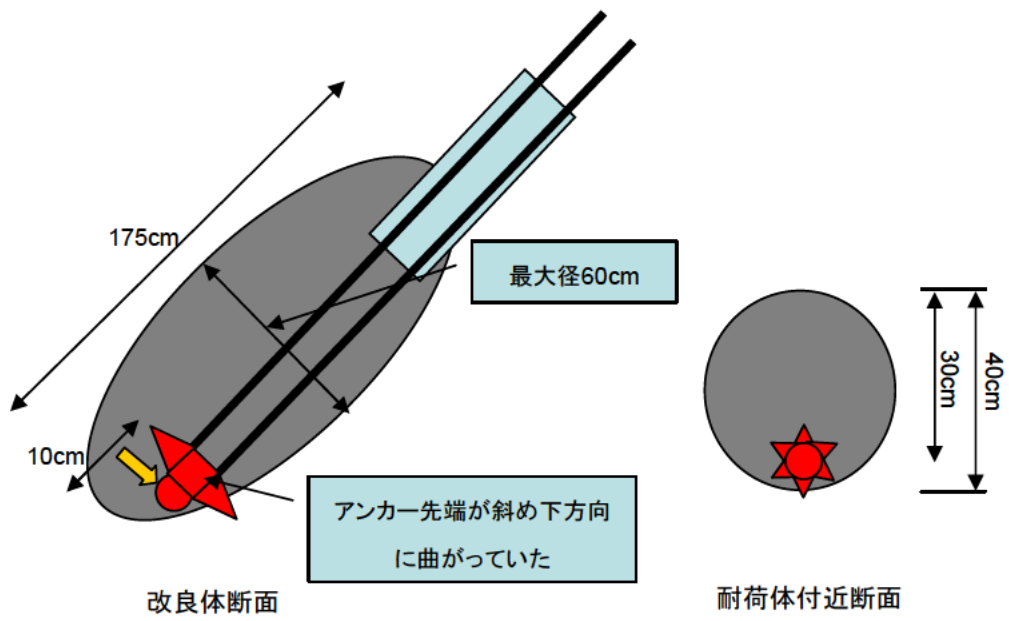


図-2.15 ケース1 実験結果

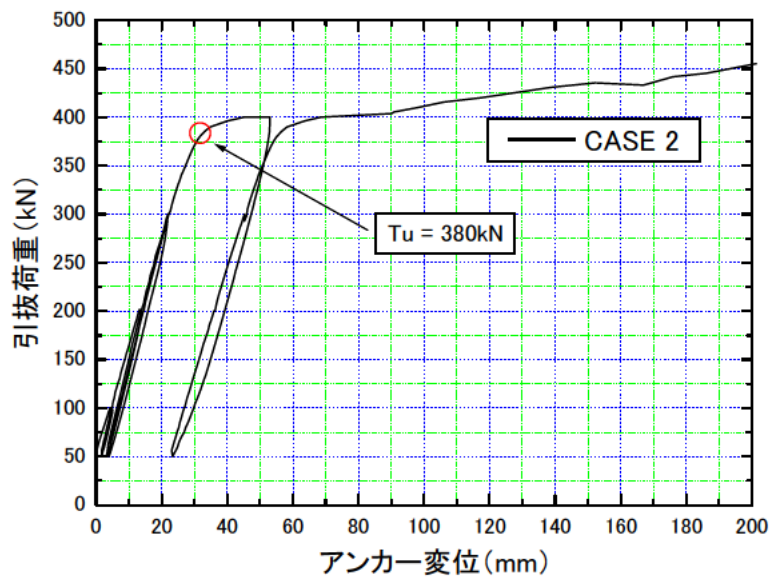
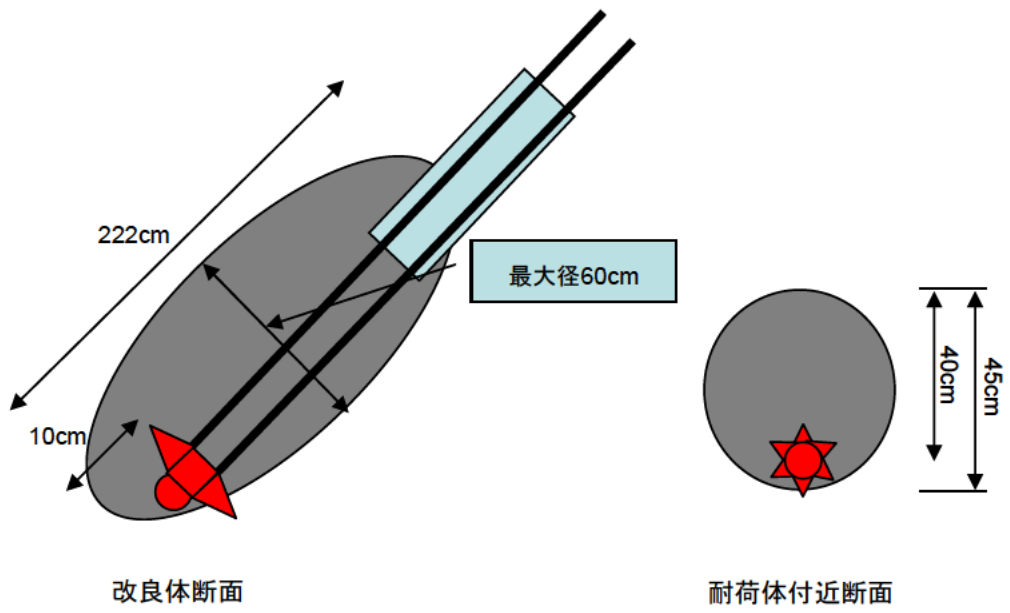


図-2.16 ケース 2 実験結果

2. 3. 3 袋型耐荷体

(1) 袋型耐荷体の特徴

CPG の出来形の偏心を小さくすることは、高耐力アンカーを開発するうえで必須である。そこで、袋材を用いて出来形を強制する「袋型耐荷体」の開発を行った。

袋型耐荷体は、袋材と支圧拘束材から構成される。支圧拘束材に取り付けられた袋材は、グラウトが注入されることで、 $\phi 500\text{mm}$ 程度に拡大される。先の実験から地盤内に圧入される CPG は出来形の予測や制御が容易ではないことがわかったが、袋の中に圧入することで、袋材の張力によって出来形を強制しようというものである。これによって、確実な出来形で受圧面の大きな耐荷体をアンカー先端部に配置することが可能になり、グラウト体への荷重の伝達効率が改善される。

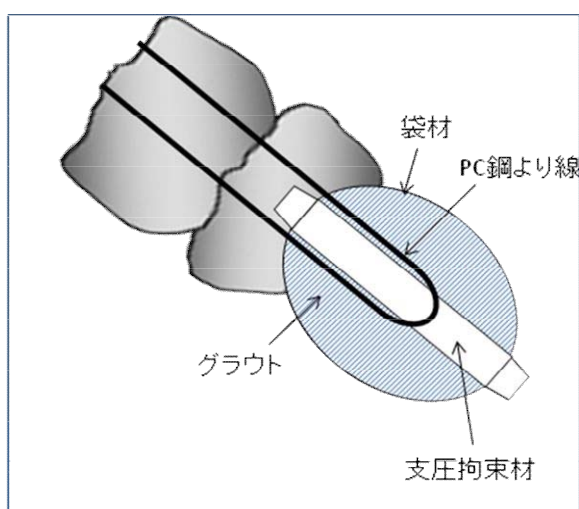


図-2.17 袋型耐荷体模式図

(2) 支圧拘束材の特徴

支圧拘束材は次の機能を有することを特徴とする。

a) 注入材の注入機能

支圧拘束材の周囲は削孔径以上のグラウト体を形成して、地盤中において支圧抵抗力を発現させなければならない。そのため支圧拘束材は鋼管により形成され、先端は注入材の吐出口を有する。また、アンカー頭部側には、圧入管との接続チャックを有する。

b) 支圧定着力機能

支圧拘束材とグラウト体は十分な付着力が必要であり、支圧拘束材は支圧プレートを有する。

c) 袋材取付け機能

注入されるグラウト体は支圧拘束具の周囲に均質・均等に形成されることが重要であり、支圧拘束材は地盤中において削孔径以上に膨張する袋材を取り付けられる構造である。

d) 引張り材取付け機能

支圧拘束材に作用する荷重は先端から導入されることが望まれ、先端部は PC 鋼より線が取り付けられる構造である。

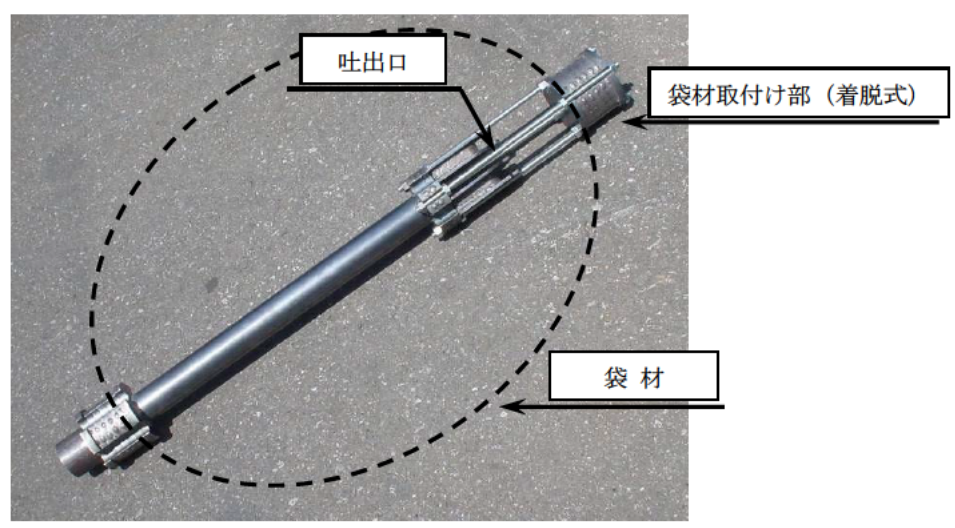
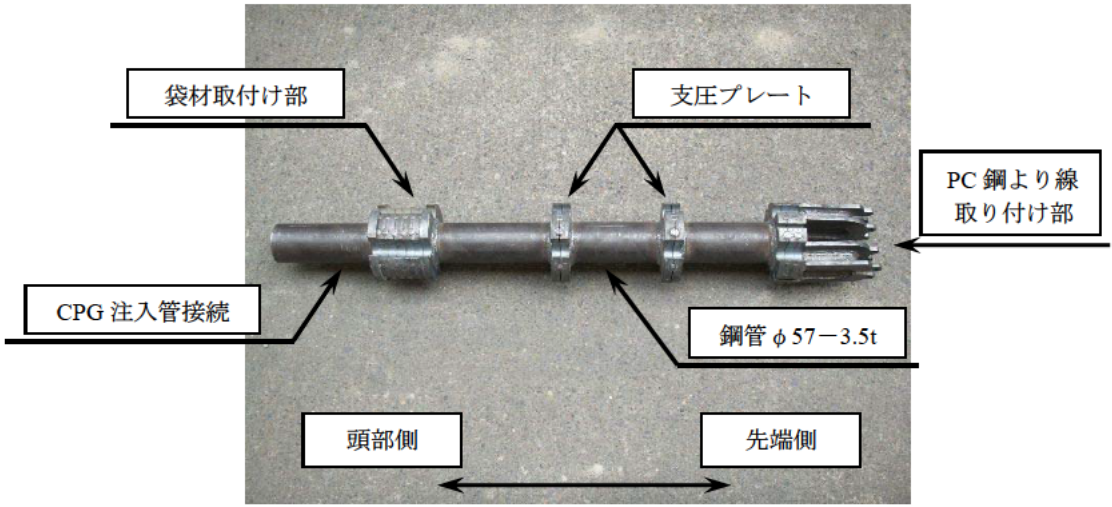


図-2.18 支圧拘束材

(3) 袋材の特徴

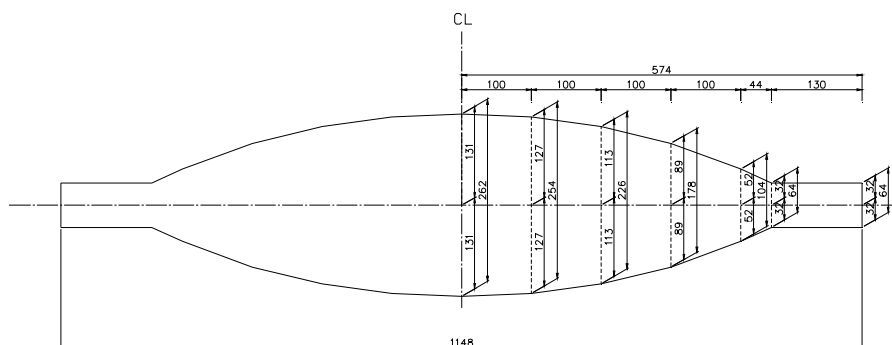
袋材の材料特性を表-2.11 に示す。

表-2.11 袋材の材料特性

名称	規格
材質	ポリエステル
耐圧強度	1.5MPa 以上
引張強度	800kgf/(3cm) 以上
厚さ	1.24mm
定格容量	150L
拡大後の定格寸法	φ 500mm×L750mm (楕円球体)

袋材は、図-2.19 に示す展開図の形状に切断した 6 枚の生地を縫合して制作した。袋材拡大時の形状図-2.5 に示すように、最大径 φ 500mm の楕円球体となるように設計されている。これは、球体構造とすることにより、局所的に過度の引張り力が作用することを防ぐため目的である。

袋材の両端部には、長さ 130mm、径 120mm の袖が存在する。この袖の部分が支圧型拘束材に取り付けられる構造である。



※ ただし、縫い代は考慮していない。

図-2.19 袋材展開図

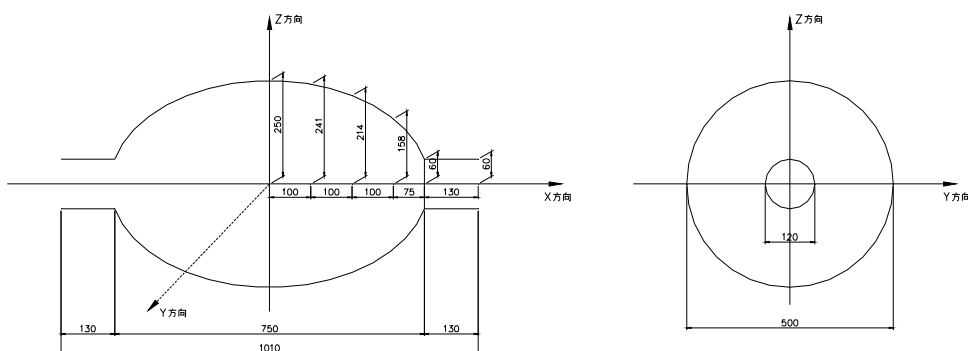


図-2.20 袋材形状図 (拡大時)

(4) 施工手順

袋型耐荷体を用いたアンカー打設の施工手順を以下に示す。

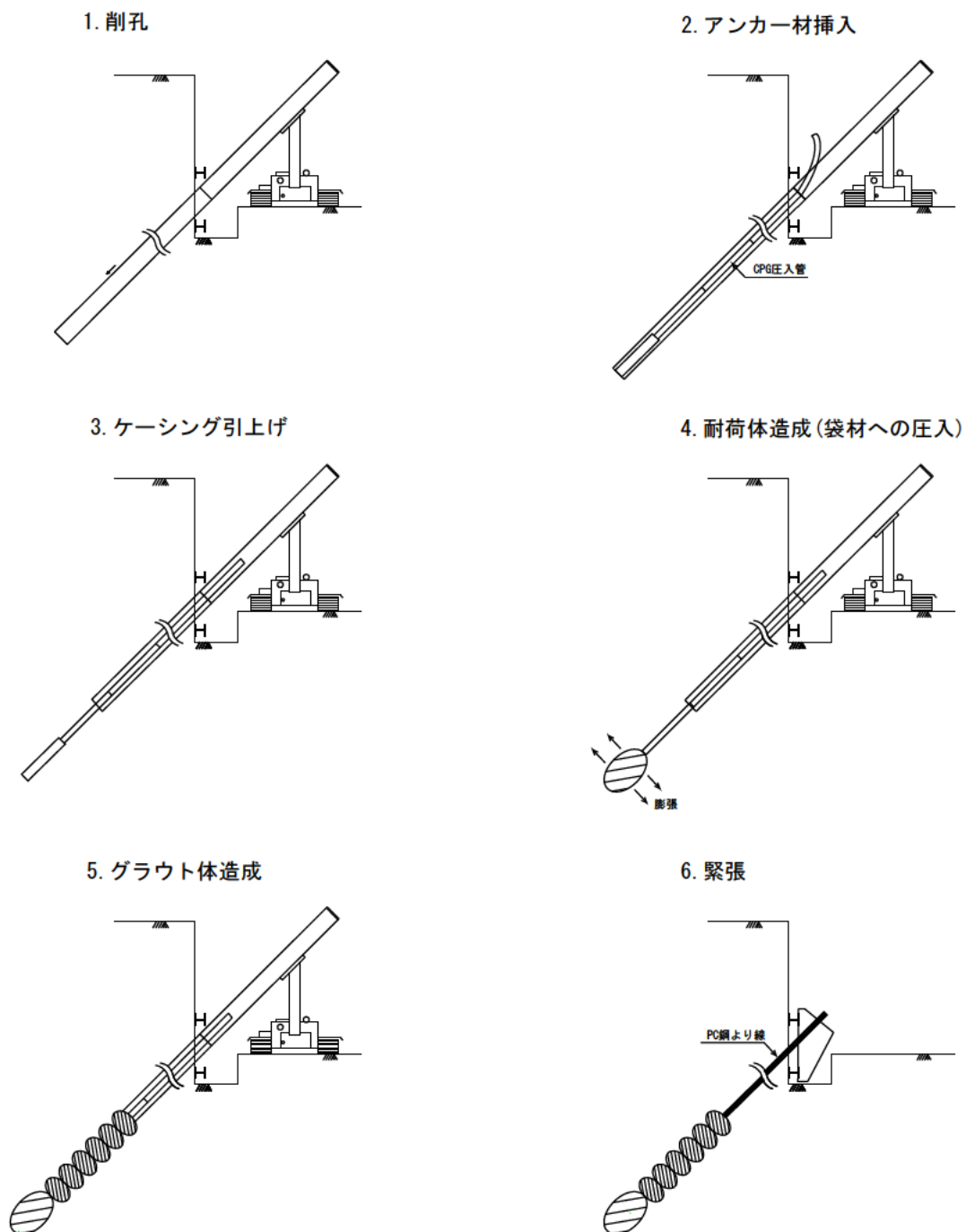


図-2.21 袋型耐荷体を用いた CPG アンカーの施工手順

(5) 袋型耐荷体の検証結果のまとめ

袋型耐荷体の検討項目と結果の一覧を表-2.12 に示す。

表-2.12 袋型耐荷体の検討項目と結果一覧表

検討項目	検証試験	結果	考察
袋材のかしめ部の強度	① かしめ部の強度検証試験	PP 製テープを3重巻きにしたものが最も大きな強度を発揮した。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 拡大初期にはかしめ部に圧入圧力が集中するため、地盤の拘束圧および袋材の破断強度以上の強度が必要である。 ・ PP 製テープは、単体ではスチールバンド等に強度は及ばないが、何重かに巻くことで大きな引張強度を発揮する。
袋材の拡大性能	② 袋材の拡大試験	N 値 20 の砂地盤においても袋材が拡大することを確認した。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 拡大後の圧入によって、袋材の縫合部が破断する。このときの圧力は 2,0Mpa 程度である。 ・ 拡大初期には圧入圧力は、地盤の拘束圧に作用し、袋材が負担する荷重が小さいため、袋材は所定の径に拡大される。
支圧拘束材の付着強度 PC 鋼より線の破断強度	③ 簡易引抜試験	最大引抜荷重 827kN で PC 鋼より線が破断	<ul style="list-style-type: none"> ・ 支圧拘束材の PC 鋼より線定着部の寸法が PC 鋼より線の破断強度に影響を与える。 ・ グラウトと支圧プレートの付着において、プレート 1 枚でも 550kN という大きな支圧荷重を伝達することが可能である。

上の表で挙げた検証試験①～③の概要について、次項で説明する。

(6) かしめ部の強度検証試験（固定用バンド引張り試験）

目的)

袋材は支圧拘束材の両端部に設けられたかしめ部に固定用バンドによって定着されている。地盤内で袋材に材料を注入するとき、袋材が拡大を始めるまでは、かしめ部に荷重が集中することが考えられる。このとき、固定用バンドに十分な強度がない場合、袋材が拡大する前にかしめ部が破損し、そこから材料がリークする恐れがある。したがって、少なくともかしめ部には袋材以上の耐圧強度が必要となる。

固定用バンドとして、①ホースバンド、②帯鉄（スチールバンド）、③10 番線、④ポリプロピレン製テープ（PP テープ）の4つを対象に挙げ、引張り試験による強度特性の検証を行った。

試験方法)

試験は写真-2.16 に示すように固定用バンドで輪を形成し、輪の一端を固定し他方を一定変位速度で引っ張った。バンドの引張り強度としては、周方向へ一定変位を与えるループ引張り強度による評価の方が適切だと考えるが、ここでは各材料における引張り強度の大小を評価する目的で行っている。



写真-2.16 固定用バンド引張り試験

試験結果と考察)

試験ケースと試験結果を表-2.13 にまとめる。すべてのケースで最も大きな引張り強度を発揮したのは、3重に巻いたPP製テープであった。袋材の材質がポリエステルであるため、PP製テープによる定着は、材質の伸びに対する相性もよいと考えられることから、固定用バンドにはPP製テープを用いることにした。

表-2.13 固定用バンド引張試験ケース

種別	引張破断強度(kgf)	備考
ホースバンド	390	
帯鉄	750	
番線	970	10番
PPテープ	360	1重巻き
"	1030	2重巻き
"	1240	3重巻き

かしめ部強度試験)

かしめ部の強度を確認するために、図-2.22 に示すように地盤内に拡大前の袋材が余裕をもって入る程度の塩ビ管を埋め込み、その中へ袋材を挿入しグラウトの加圧注入を行った。塩ビ管によって側方向への変形を拘束し、圧入圧力をかしめ部に集中させる目的である。

試験の結果、最大圧力 2.3Mpa で袋材の縫合部が破断し材料がリークした。このことから、かしめ部は、最大圧力 2.3Mpa 以上かつ袋材の破断強度以上の強度を有することを確認した。

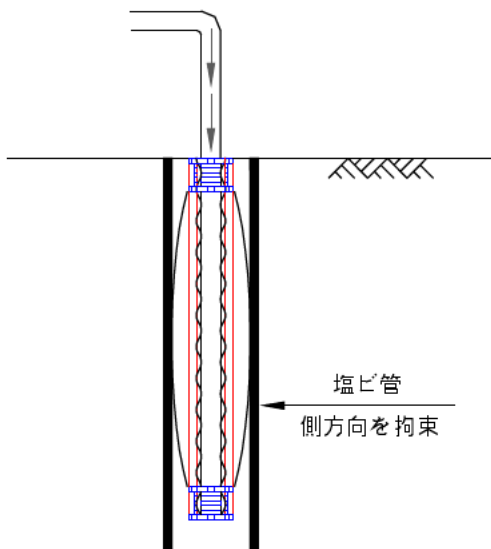


図-2.22 かしめ部強度試験模式図



写真-2.17 試験後の供試体

(7) 袋材の拡大試験

目的)

袋材の拡大時の課題としては次の項目が挙げられる。

- ・ 出来形に偏心はないか。
- ・ 拡大時に縫合部やかしめ部で破断はないか。
- ・ 袋材の拡大の状態を、圧入圧力や流量で管理できるか。

これらの課題について検討するため、袋材の拡大試験を実施した。拡大試験は、気中、土被りゼロの地盤（半地中）、および地中の3段階で行った。また、得られた結果から、最適な袋材の材料強度、縫合方法、形状について考察した。

試験方法)

試験は、写真-2.18 に示す部材に袋材を装着してダミー耐荷体を作成した。このダミー耐荷体は中空構造になっており、この中に圧入管を挿入し、グラウトの注入を行った。袋材拡大部の長さは750mmであり、圧入管の吐出口は袋先端から150mm手前とした。

注入作業は定量を注入するのではなく、圧力の低下、異音、材料リーク等何らかのアクシデントが起きた時点で注入を終了するよう計画した。



写真-2.18 ダミー耐荷体



写真-2.19 袋材

試験結果と考察)

代表的な実験ケースと結果を表-2.14 に示す。

表-2.14 袋材拡大試験の試験ケース一覧表

実験ケース	実験条件	袋材の材質強度	最大圧力(MPa)	注入量(L)	破損箇所
ケース 1	気中	500T	2.0	160	縫合部破断
ケース 2	半地中	500T	1.7	140	〃
ケース 3	地中(緩詰め・GL-2.5m)	800T	2.0	160	〃
ケース 4	地中(N=20・GL-3.5m)	800T			〃

ケース 1~4 のすべてのケースで袋材の拡大は正常に行われたものの、拡大後、袋材の縫合部が破断するという結果となった。これは、拡大途中では注入材の圧送圧力は地盤の拘束圧が負担するが、拡大後は袋材の張力が負担するためと考えられる。

実験過程では、袋材縫合部の強度を見直し、袋材の材質強度を大きくする、縫合部の糸を太くし、縫合箇所を増やすといった対策を行ったが、拡大後、最大圧力 2.0Mpa 程度で縫合部が破断するという結果は変わらなかった。

注入量はいずれのケースも 150L 程度であった。これは、設計図面から楕円球体の体積を厳密に求めた値である 100L に比べて大きな値である。圧入によって袋材の生地が伸びたことや、袋材内部のグラウトが脱水作用を起こしていることが要因と考えられる。実際に拡大後の袋材の径を測ると約 550mm で、設計値よりも 50mm 程度大きな値であった。

図-2.23 は、ケース 3 の圧入圧力と流量の関係をまとめたグラフである。図-2.23 を見ると、注入の初期では CPG が周辺地盤を押し広げるために、圧力が上昇しているのがわかる。その後、定常になり、袋材がほぼ拡大したと思われる 100L の時点で再び圧力が上昇する。そして、袋材の破断とともに、圧力が低下しているのが見てとれる。

しかし、すべてのケースでこのように圧力と流量の間に明瞭な関係が得られたわけではない。ケース 1,2 では、拡大時の圧力の上昇や破断後の圧力低下といった傾向が見られなかった。袋材の拡大の状態を、圧力や流量で管理するためには課題が残る結果となった。

ケース 1~4 の出来形の写真を以下に示す。

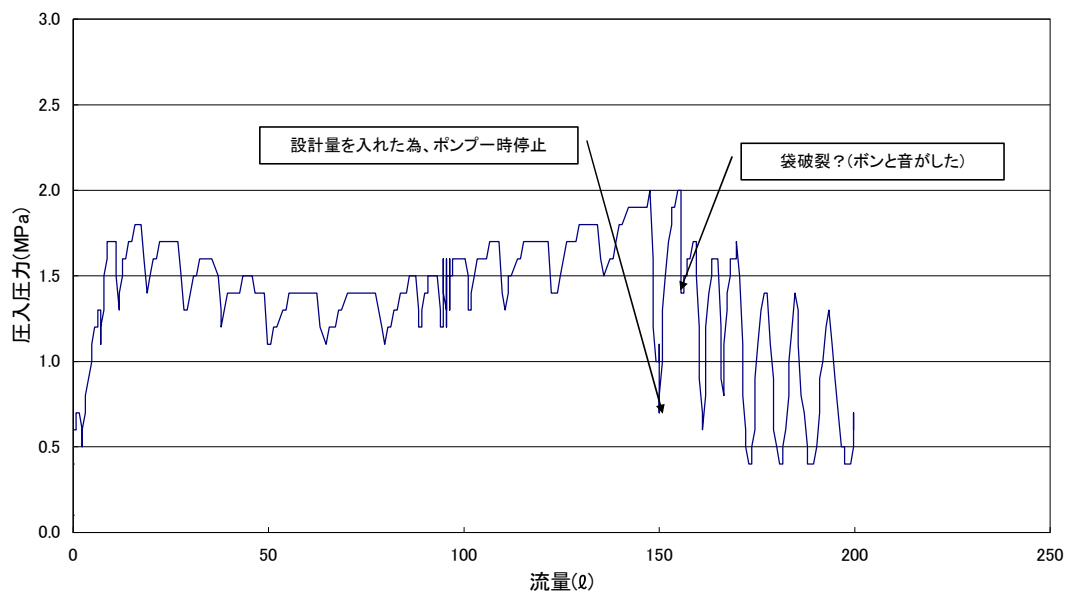


図-2.23 圧入圧力-流量図 (ケース 3)

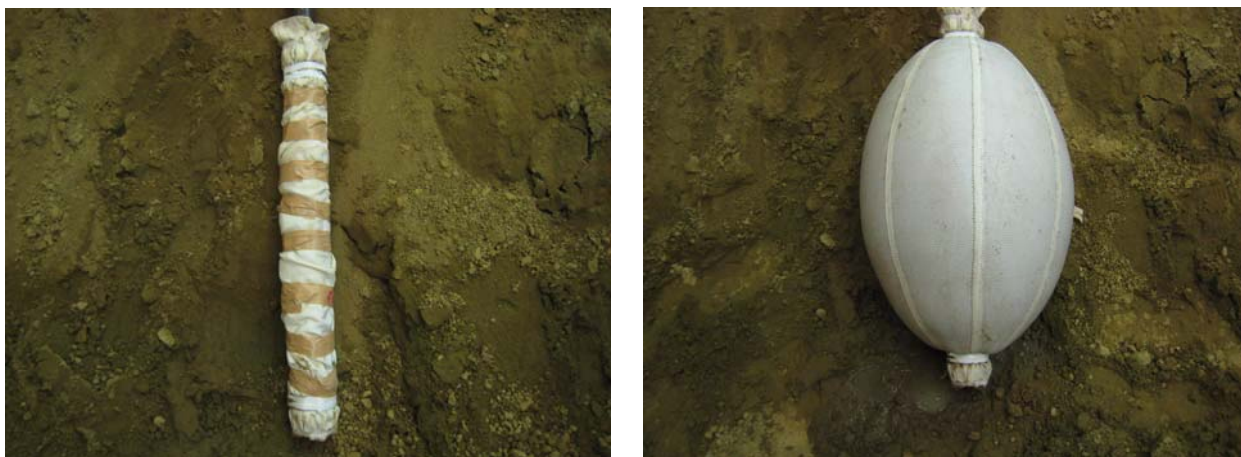


写真-2.20 袋材拡大試験 (ケース 1)



写真-2.21 袋材拡大試験 (ケース 2)



写真-2.22 袋材拡大試験 (ケース 3)



写真-2.23 袋材拡大試験 (ケース 4)

(8) 支圧拘束材の簡易引抜試験

試験概要)

本実験は、PC 鋼より線の荷重を袋型耐荷体へ伝達できる簡易な構造を構築し、その適用性を確認することが目的である。PC 鋼より線の荷重を袋材へ伝達するために、1 枚もしくは複数枚の支圧プレートを用いる。

第 1 段階として、支圧プレートを配置したグラウト供試体を作成し、引抜試験を実施した。その結果、支圧プレート 1 枚であっても、約 550kN の荷重を伝達可能であることがわかった。この結果を踏まえ、支圧プレートを備えた現行の支圧拘束材を開発した。次に支圧拘束材を配置したグラウト供試体を作成し、引抜試験を実施した。そして、支圧拘束材に作用する応力やグラウトとの付着強度について考察を行った。

支圧プレート引抜試験)

支圧プレート引抜試験は、 $\phi 120\text{mm}$ のプレートを単体で配置したケース 1 および、2 枚の支圧プレートを 400mm の距離をおいて丸棒に剛結したケース 2 の 2 ケースを行った。グラウトの供試体寸法は、 $\phi 500\text{mm} \times L750\text{mm}$ の円柱体であり、袋材拡大時の寸法と同程度とした。グラウトには CPG と同じ配合のものを使用し、一軸試験の結果、圧縮強度は 18.7Mpa であった。

供試体の構造図を図-2.24 に示す。PC 鋼より線は支圧プレートにくさびによって定着されている。(ただし、ケース 2 については、先端側のプレートのみくさび止めされている。) また、純粋な支圧による効果をみるために、アンボンド PC 鋼より線を使用している。

荷重は単調荷重で行い、グラウト供試体が破壊した時点で試験を終了した。荷重-変位曲線を図-2.25、図-2.26 に示す。ケース 1 では 550kN、ケース 2 では 600kN 荷重段階でグラウト体が破壊した。この結果から、支圧プレート単体でも 550kN という大きな荷重を伝達できることが確認できた。

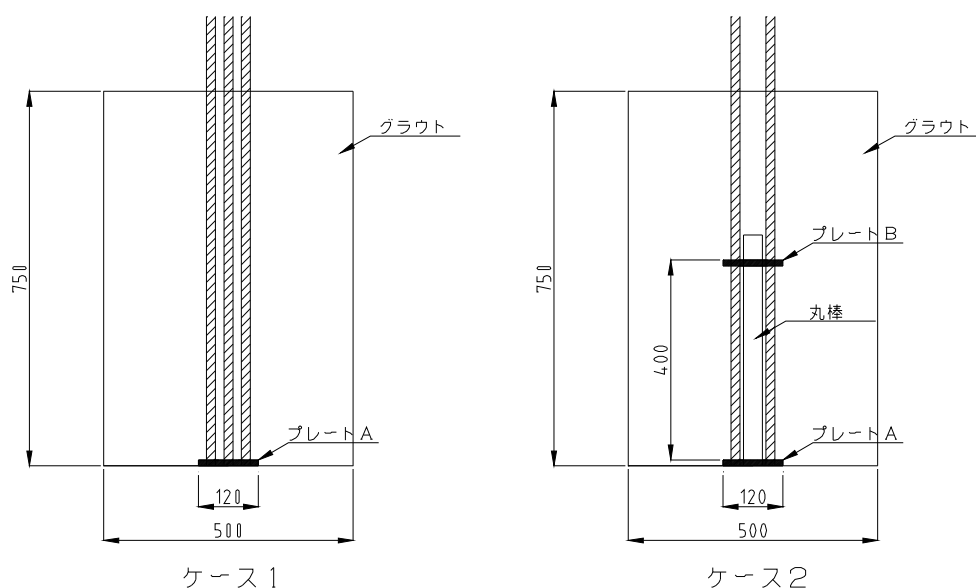


図-2.24 供試体構造図

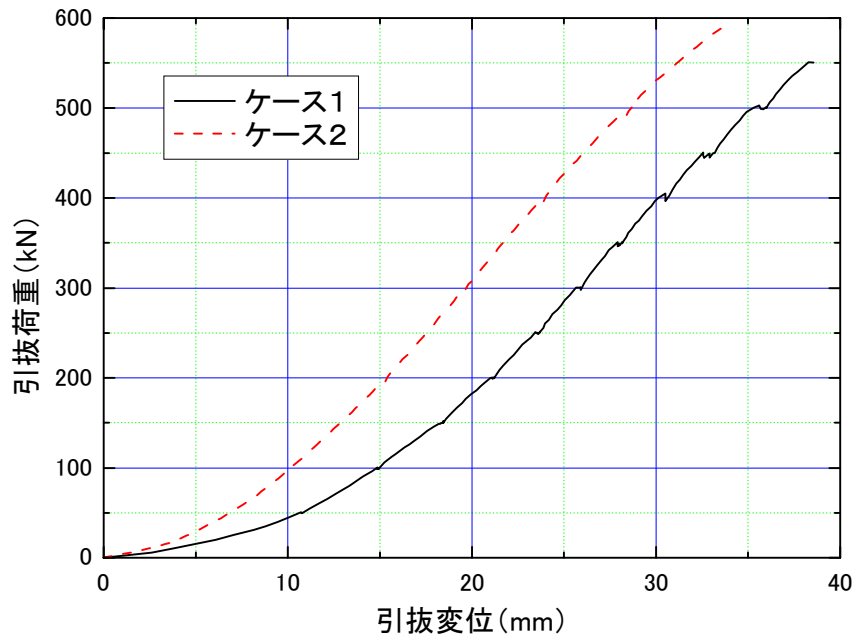


図-2.25 荷重-変位曲線



写真-2.24 実験後の供試体 (ケース 1)

支圧拘束材引抜試験)

支圧拘束材引抜試験では、図-2.18 に示した支圧拘束材の周囲にグラウトを打設して、支圧拘束材の引抜試験を行った。

アンカー体の破壊は、①PC 鋼より線の破断、②耐荷体の破壊、③アンカー体の引き抜きの3つがある。本実験の目的は、①および②の破壊荷重を簡易な実験で確認しようというものである。

実験の模式図を図-2.26 に示す。支圧型拘束材をφ500mm×1.0m程度のボイド管に配置し、周囲にグラウトを打設した。グラウト材はセメントミルクであり、セメントは早強セメントを使用した。セメントミルクの配合は、W/C=50%とし、3日間の養生後引抜試験を実施した。なお、本実験では、ボイド管を解体せずに引抜試験を実施した。

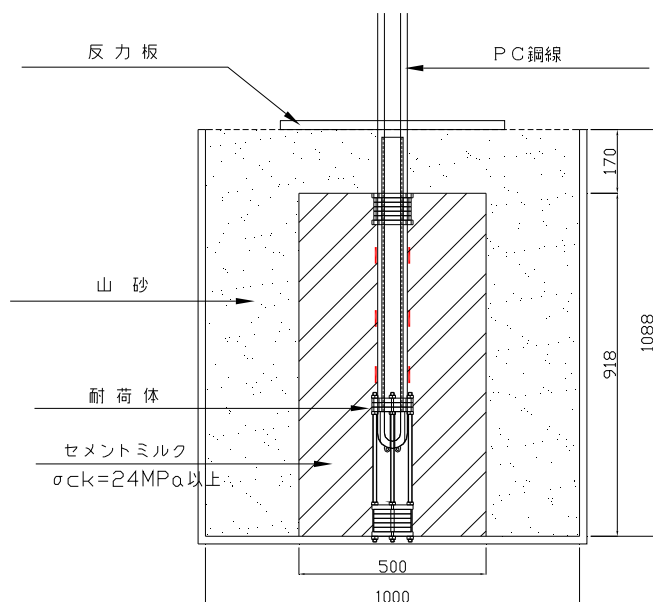


図-2.26 供試体構造図

実験ケースおよび結果の一覧を表-2.15 に示す。

表-2.15 支圧拘束材引抜試験 実験ケースおよび実験結果

実験ケース	支圧プレート枚数	PC鋼より線ターン部における溝幅	破壊荷重	破壊の状態	ひずみゲージ
ケース1	1枚	18mm	350kN	PC鋼より線の破断	○
ケース2	3枚	18mm	350kN	〃	○
ケース3	〃	19mm	827kN	〃	×
ケース4	〃	22mm	827kN	〃	×

ケース 1 およびケース 2 では、載荷荷重 $T=350\text{kN}$ 付近で、PC 鋼線が切断する大きな音とともにくさびが外れ、荷重が一気に低下した。その後は再載荷せずに試験を終了した。今回使用した PC 鋼より線は、7 本より 15.2mm であり、JIS の規格値は引張荷重 261kN 以上である。この規格値から予想される今回実験の PC 鋼線の破断荷重は次のようになる。

$$T_u = 261 \times 4(\text{本}) \times 0.85 = 887\text{kN}$$

ここで、 0.85 を乗じているのはターンさせていることによる低減率である。しかし、実際には、 350kN という極端に小さな荷重で PC 鋼線が破断に至った。破断の様子は写真-2.25 に示すとおり、先端のターン部分にて内側素線がせん断破壊とも思える状態で破断していた。この原因としては、PC 鋼より線に引張り力以外の何らかの負荷がかかったことが考えられた。

上記の状況を踏まえ、ケース 3,4 では図-2.27 に示すように、PC 鋼より線を定着している先端ターン部分の溝の幅を 18mm からケース 3 では 19mm に、ケース 4 では 22mm に変更し、同様の実験を実施した。その結果両ケースとも、破壊荷重 830kN というケース 1,2 の結果を大きく回る引抜強度を發揮した。この結果から、支圧拘束材の PC 鋼より線定着部の溝幅を 19mm とすることにした。

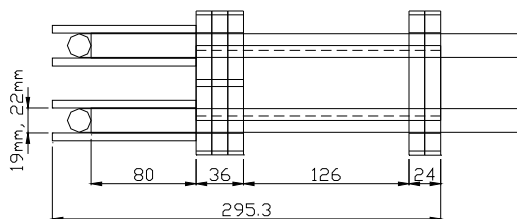


図-2.27 先端ターン部の溝幅



写真-2.25 PC 鋼より線の破断状況

耐荷体に貼り付けたひずみゲージの計測値から載荷中に耐荷体に作用した軸力を算出した。軸力の最大値を表-2.16 にまとめる。なお、軸力は、対面に張られたひずみゲージの値から次のように算出した。

$$N = \left(\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \right) EA$$

ここで、 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ は計測したひずみ量、 $E (=2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2)$ は鋼材の弾性係数、 $A (=588.26\text{mm}^2)$ は耐荷体の有効断面積である。数値は引張が正、圧縮が負で表記している。

表-2.16 軸力最大値

ケース 1		ケース 2	
位置	軸力最大値	位置	軸力最大値
1-A	10.25kN	2-A	18.41kN
1-B	33.91kN	2-B	-20.51kN
1-C	-32.43kN	2-C	-13.84kN

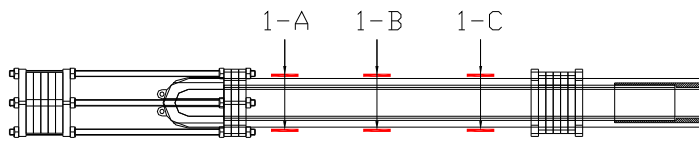


図-2.28 ケース 1 ひずみゲージ位置

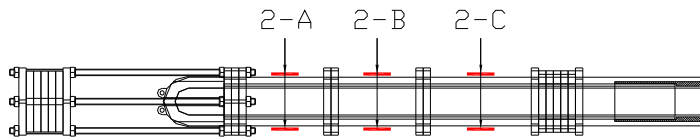


図-2.29 ケース 2 ひずみゲージ位置

表-2.16 に示すように、最大荷重 350kN という荷重履歴の中でゲージ貼り付け位置での軸力は最大荷重の 1/10 程度という結果だった。このことから、PC 鋼線に作用した引張荷重は、先端部のプレートを介しグラウトへ伝達されたものと判断でき、耐荷体として要求される機能である、袋全体に荷重を分散させる効果が確認できた。

2. 4 フィールド試験

2. 4. 1 はじめに

これまでは、CPG アンカーの構成部分である、耐荷体や CPG の個々の部材強度や圧送性等の検証試験を行ってきた。その結果、2. 2 節、2. 3 節で述べたように、要求される性能をほぼ満足させる仕様を決定することができた。次のステップとして、それら個々の要素技術を組み合わせた CPG アンカーとしての総合的な検証を行う必要がある。そこで、削孔からアンカー体造成、引抜試験までの一連のアンカー施工を試験地盤で実施し、結果の考察を行った。

実験は、平成 20 年 9 月～10 月に（独）土木研究所の土工管理実験棟内野外ピットにて実施した。(L)10m×(W)6m×(H)5.0m の土工ピットに N 値 10 程度の砂地盤を作成し、実機を用いて試験施工を行った。施工に伴い一連の施工性の確認を行うとともに、引抜試験を実施し、引抜き耐力を確認した。また、試験後試掘を行い、アンカー体の出来形の確認を行った。

2. 4. 2 本実験の目的

本実験の最大の目的は、極限引抜耐力 600kN を満足するアンカー体を造成することである。そのためには、一連の施工性が確保されるとともに、CPG や耐荷体、PC 鋼より線がそれぞれの機能を適切に発揮することが必須となる。

具体的な要素技術の検討項目を以下に箇条書きで記す。

(1) CPG 圧入

- ・ 養生後の一軸圧縮強度が 18N/mm² 以上得られているか。
- ・ N 値 10 程度の砂地盤で、閉塞することなく圧送できるか。
- ・ CPG 材料のケーシング内の逆流を防止する逆流防止弁が機能しているか。
- ・ ケーシングの外側を沿って、CPG 材料が逆流してくることはないか。
- ・ 圧入管の取り付け作業および取り外し作業をスムーズに行うことができるか。
- ・ 圧入時に PC 鋼より線が引き込まれることはないか。

(2) 耐荷体

- ・ 袋材の支圧拘束材への取り付け作業は支障なく行うことができるか。
- ・ 寸法上の問題で耐荷体がケーシング内に挿入できないということはないか。
- ・ 支圧拘束材と袋材との付着強度は 600kN 以上確保されているか。
- ・ 袋材が適切に拡大されているかどうかを流量と圧力の関係から管理できるか。
- ・ 袋材の拡大時の出来形において偏心はないか。
- ・ 耐荷体からグラウト体へ荷重を伝達する際になじみ変形は生じないか。

(3) PC 鋼より線

- ・ 極限引抜き力 600kN で PC 鋼より線は破断しないか。

(4) アンカー体

- ・ アンカー体の出来形は偏心が小さく、先端拡大型アンカーとして $\phi 700\text{mm}$ 程度の拡大径を有しているか。
- ・ アンカー体の引抜強度は既往の設計式から算出される試算値と比べてどうか。
- ・ 極限引抜耐力 600kN を満足するアンカー体の造成が可能か。

2. 4. 3 使用材料

(1) PC 鋼より線

PC 鋼より線は、7 本より $\phi 15.2\text{mm} \times 4$ 本（アンボンド仕様）を使用した。JIS の規格値は引張荷重 261kN 以上である。この規格値から予想される今回実験の PC 鋼線の破断荷重は次のようになる。

$$Tu = 261 \times 4(\text{本}) \times 0.85 = 887\text{kN}$$

ここで、0.85 を乗じているのはターンさせていることによる低減率である。

(2) 支圧拘束材

支圧拘束材には、図-2.30 に示すものを使用した。支圧拘束材の注入口側にはピンが設けてあり、圧入管と接続ができる構造となっている。

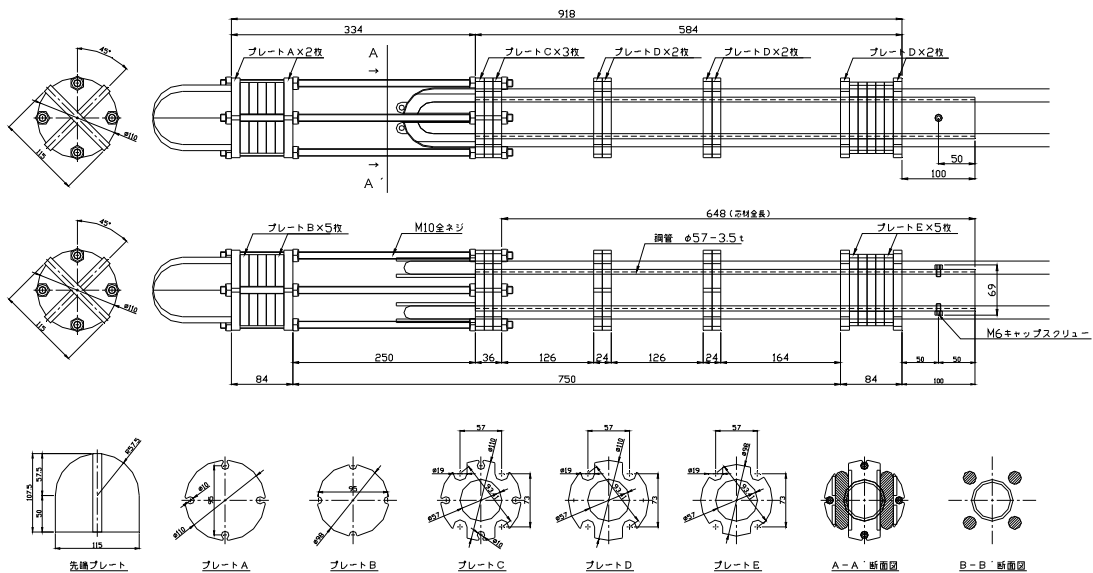


図-2.30 耐荷体

(3) 袋材

袋材には、表-2.17 に示す規格のものを使用した。

表-2.17 袋材の材料特性

名称	規格
材質	ポリエステル
耐圧強度	1.5MPa 以上
引張強度	800kgf/(3cm) 以上
厚さ	1.24mm
定格容量	150ℓ
拡大後の定格寸法	$\phi 500\text{mm} \times L750\text{mm}$ (楕円球体)

(4) CPG 材料

CPG 材料の配合は、表-2.18 に示す高強度仕様の配合とした。

表-2.18 CPG 材料配合表 (高強度仕様)

配合	配合量	骨材 (kg) m						早強セメント (kg) C	水 (kg) W	m/c
		単粒7号碎石	2号硅砂	3号B硅砂	5号硅砂	6号硅砂	トクレー			
標準	1,000ℓ当り	220	220	340	280	220	420	200	300	8.5
	200ℓ当り	44	44	68	56	44	84	40	60	
高強度	1,000ℓ当り	200	200	300	250	200	370	380	320	4.0
	200ℓ当り	40	40	60	50	40	74	76	64	
	150ℓ当り	30	30	45	37.5	30	55.5	57	48	

比重: 2.22

2. 4. 4 地盤条件

実験地盤は、山砂を土工ピット内に盛り立てて作製した。ピット中央部における地盤構築時および試験途中の貫入試験の結果を図-2.31 に示す。地盤構築から実験開始時期までにはある期間があり、降雨の影響で実験開始時には GL-2.0m 程度までの地下水位が確認された。しかし、貫入値には大きな違いが見られなかった。図-2.31 から概ね N 値 10 の地盤を満足していると言える。

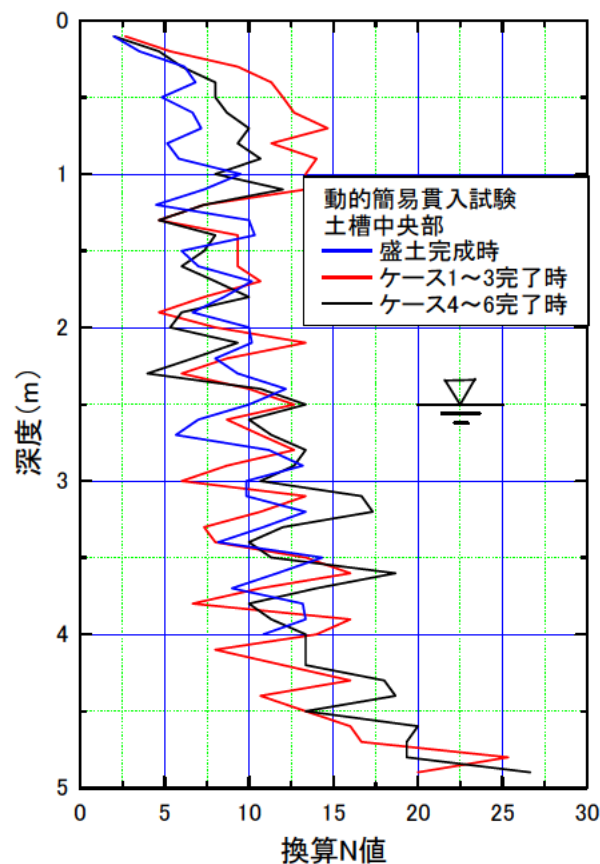


図-2.31 貫入試験結果

2. 4. 5 実験ケース

実験は、アンカー打設角度とアンカー長を変えて、合計6ケースを実施した。各実験ケースの仕様と模式図を以下に示す。

表-2.19 実験ケース一覧

	実施場所	打設角度	削孔長	ケーシング 引上げ長	ハッカー長	CPG改良体			CPG注入材 圧入量							
						改良長	ピッチ	個数	ハッカー	CPG 1個目	CPG 2個目	CPG 3個目	CPG 4個目	CPG 5個目	CPG 6個目	計
CASE-1	土工 ピット	鉛直	5.0m	1.5m	1.1m	0.00m	0.00m	0個	150ℓ	—	—	—	—	—	—	150ℓ
CASE-2		鉛直	5.0m	1.7m	1.1m	0.66m	0.33m	2個	150ℓ	150ℓ	150ℓ	—	—	—	—	450ℓ
CASE-3		鉛直	5.0m	2.7m	1.1m	0.99m	0.33m	3個	150ℓ	150ℓ	150ℓ	150ℓ	—	—	—	600ℓ
CASE-4		40°	7.7m	3.1m	1.1m	1.98m	0.33m	6個	150ℓ	200ℓ	150ℓ	150ℓ	150ℓ	150ℓ	150ℓ	1,100ℓ
CASE-5		40°	7.7m	2.6m	1.1m	1.20m	0.20m	6個	150ℓ	200ℓ	150ℓ	150ℓ	150ℓ	150ℓ	150ℓ	1,100ℓ
CASE-6	ピット外	鉛直	9.8m	3.1m	1.1m	1.98m	0.33m	6個	150ℓ	300ℓ	200ℓ	200ℓ	200ℓ	200ℓ	200ℓ	1,450ℓ

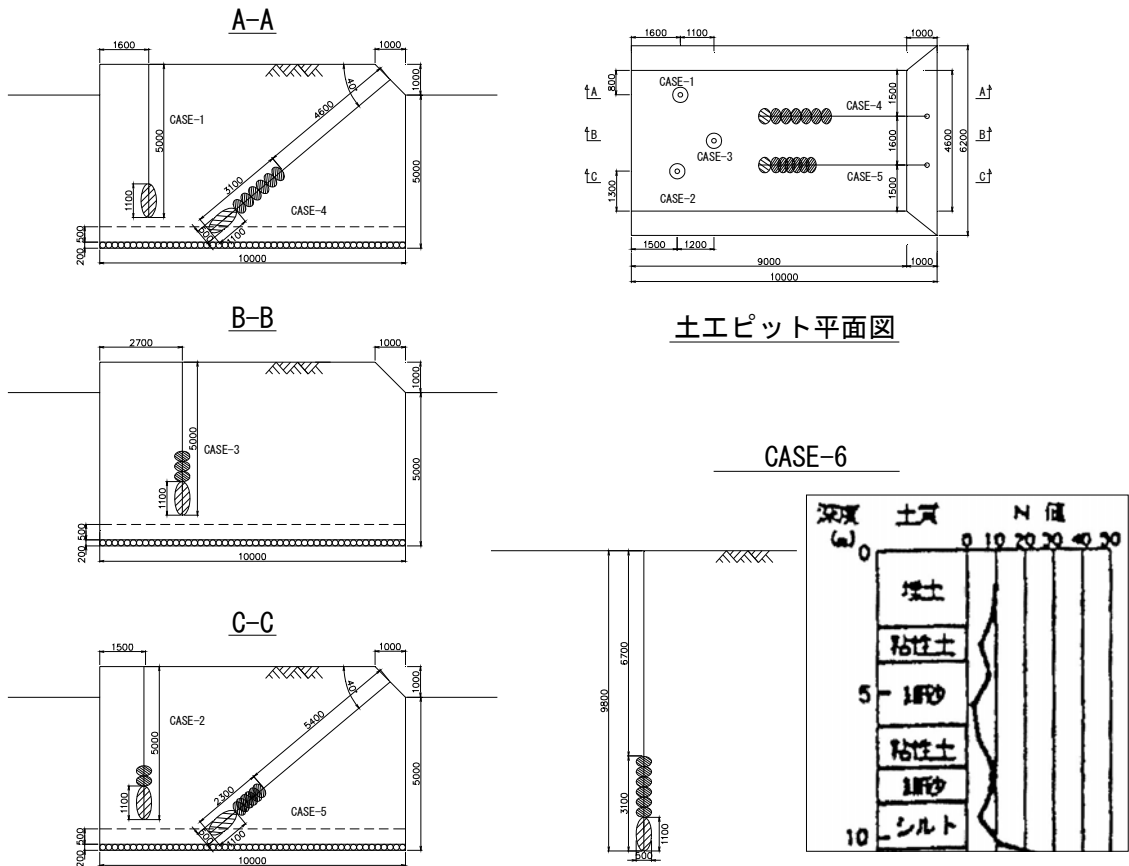


図-2.32 実験概要図

2. 4. 6 予備実験

本実験に先駆けて、以下の2ケースの予備実験を実施した。

(1) 予備実験①：袋材の気中拡大試験

予備実験①は、気中にて袋材の拡大試験を行った。これは、袋材の拡大性能を気中にて再度確認するとともに、圧入によって耐荷体と圧入管の接続が外れることがないかを確認するためである。実験の結果、耐荷体と圧入の接続部は正常に機能しており、袋材も想定したとおりの寸法に拡大した。



耐荷体+圧入管接続状態



気中圧入試験

(2) 予備実験②：耐荷体の破壊強度試験

予備実験②では、図-2.33 に模式的に示すように、土被りゼロの地盤に支圧拘束材と PC 鋼線を備えた袋材を拡大させ、袋材を反力として、支圧拘束材の引抜試験を実施した。

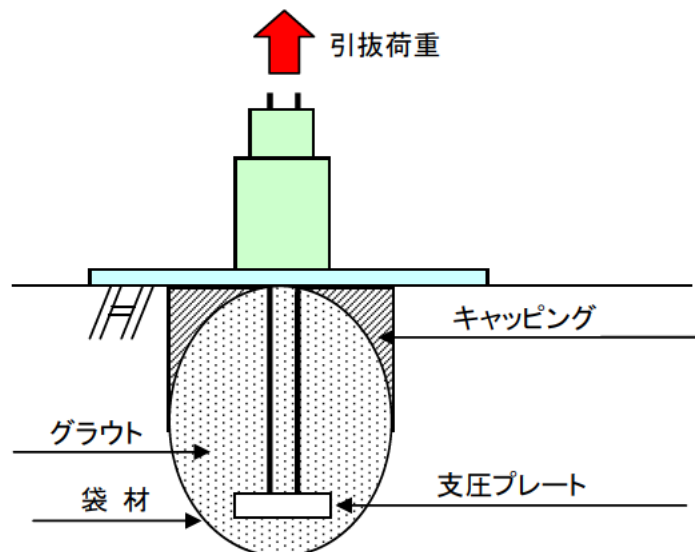


図-2.33 引抜試験模式図 (予備実験②)

引抜試験の結果、 $T=680\text{kN}$ で袋内のグラウトが破壊した。この時点で支圧拘束材とグラウトの付着強度は極限引抜耐力 600kN を満足することを確認できた。

試験後の供試体を確認すると、袋材は拡大後に圧入圧力によって縫合部に沿って破断しており、グラウトの亀裂は、袋材の破断箇所と同じ位置に発生していた。このことから、袋材の周方向への拘束力は、グラウト破壊を抑止するために少なからず機能しており、袋材は破断しないほうがよいという結論に至った。



引抜試験後（予備実験②）

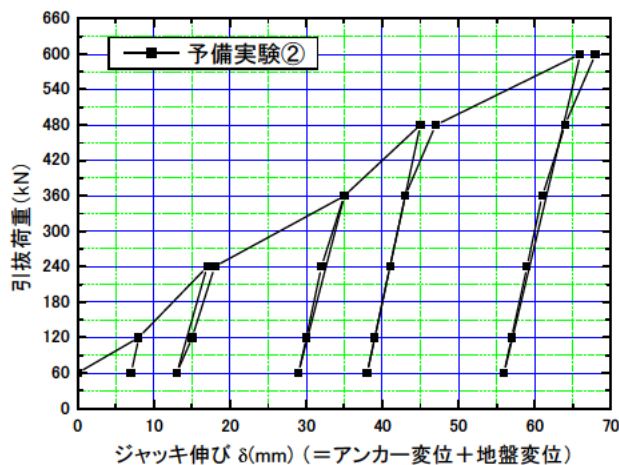


図-2.34 荷重-変位曲線 (予備実験②)

2. 4. 7 施工性の確認

本実験では、鉛直打設を3本、斜め打設を2本実施し、その後にピット外の原地盤に鉛直打設1本を行った。

施工時の写真を以下にまとめて示す。



削孔状況



アンカー材挿入状況



逆流防止材取り付け



C P G材料圧送状況



圧入時クラック



圧入時クラック



逆流防止剤引き上げ



PC 鋼より線切断状態(CASE-4)



C P G 材料リーク状況(CASE-3)



プラント全景



人工地盤全景

(1) 削孔

削孔は、ロータリーパーカッションにてφ165mmのケーシング削孔を行った。削孔時に地盤を緩めるとそこから材料がリークしてくることが懸念されたため、無水掘りを行った。所定の深度まで削孔後、耐荷体を圧入管に繋ぎながら挿入した。

(2) 挿入

耐荷体のケーシングへの挿入作業に手間がかかった。現状の耐荷体とケーシング内径とのクリアランスがほとんど無いためである。

ケーシング内の逆流防止のために、合計6箇所逆流防止材を取り付けた。

耐荷体挿入後、ケーシングをアンカー長の分(1.5m~3.1m)引き上げた。耐荷体長は1.1mであるため、ケーシング引き上げ長から耐荷体長を差し引いたものがグラウト体長(定着長)となる。

(3) 耐荷体造成

袋材には定量(1500)を注入した。ケース3では注入量が1000を超えた付近で破裂音ともに圧力が低下する現象がみられた。ケース1,2では支障なく定量を注入することができた。ケース4,5においても、施工時には異常なく定量を注入したが、出来形を見ると注入中に袋材が破断していた。施工管理上、課題が残る結果となった。

耐荷体造成後、耐荷体と圧入管の接続チャックをはずし、ステップ注入によるグラウト体造成を行った。耐荷体と圧入管の接続が完全に外れたかどうかの判断が難しかった。

(4) グラウト体造成

グラウト体の造成は、1ステップ当たりの注入量1500、ステップ長33cmを標準とした。圧送性は良好であり、管理目標値5Mpa以下の圧入圧力に対して、最大でも3.5Mpa程度であった。しかし、土被りが小さいため、地表面への材料の発達が目立った。ケース3では、ケーシング脇から材料がリークしたため、4ステップ注入する予定を3ステップで終了した。

逆流防止材については正常に機能したため、材料がケーシング内を通り、注入口まで逆流してくるといった現象はなかった。しかし、ケースによって1箇所の逆流防止材で防止できたもの、複数箇所の逆流防止材で逆流を防止できたものがあった。より信頼性の高い逆流防止材の開発が今後の課題となった。

圧入後、圧入管を引き上げる作業が困難なケースがあった。CASE-4 では、圧入管引抜き時にPC鋼より線が絡み付いて切断された。これらの施工性を改善するのも今後の課題である。

図-2.35 に圧入圧力と流量の関係を示す。

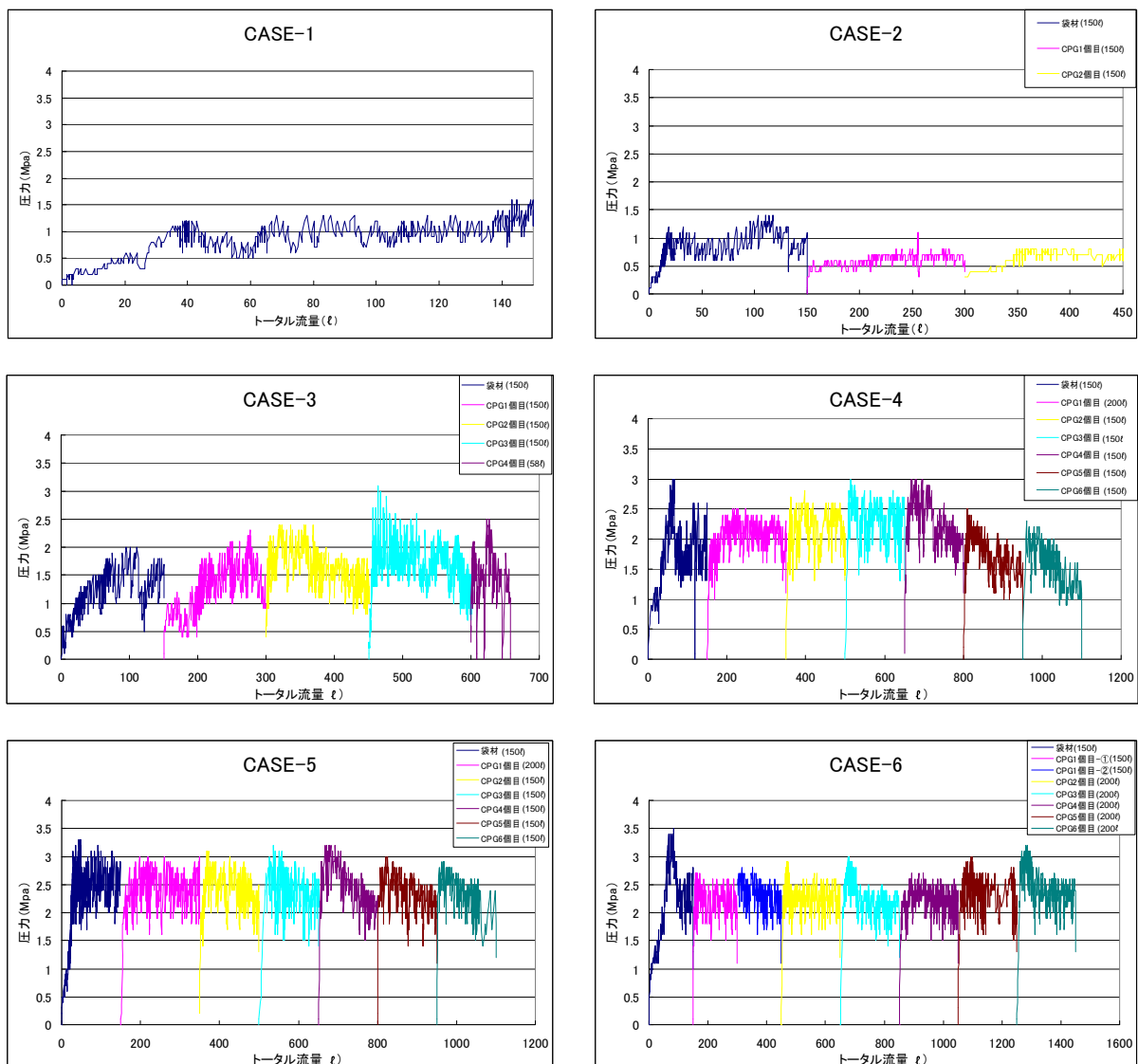


図-2.35 圧入圧力と流量の関係

2. 4. 8 アンカー体の引抜試験

アンカー体の引抜試験に先駆けて、打設時に採取した供試体の一軸圧縮試験を実施した。試験結果を表-2.20 にまとめる。標準養生に近いと思われる保温室養生のサンプルに対しては 18N/mm^2 以上の強度が確認されている。

表-2.20 一軸試験結果一覧表

実験ケース	材令	密度 (g/cm ³)	一軸強度 (N/mm ²)	備考
予備実験②	7日	2.155	20.0	モールド供試体・保温室養生
予備実験②	7日	2.115	17.0	コア供試体
ケース 3	5日	2.154	18.4	モールド供試体・保温室養生
ケース 5	7日	2.156	22.2	モールド供試体・保温室養生
ケース 6	6日	2.143	17.4	モールド・現場気中養生

載荷方法は、下図に示すとおり地盤工学会基準に準じた多サイクル載荷試験を実施した。計画最大荷重は 600kN に設定した。

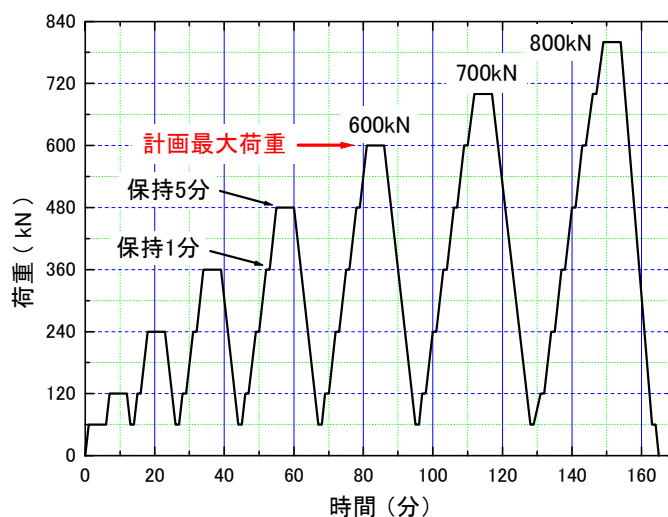


図-2.37 載荷荷重時刻歴

試験状況を以下に示す。アンカー頭部の地盤の周囲に鉄板もしくはH鋼で井桁を組み、引き抜き試験を行った。アンカー荷重、頭部変位および地盤変位の計測を行った。



ケース 6 試験状況



ケース 5 試験状況

ケース 1～6 の引抜試験結果を以下に示す。

【 ケース 1 】：袋のみ・鉛直打設

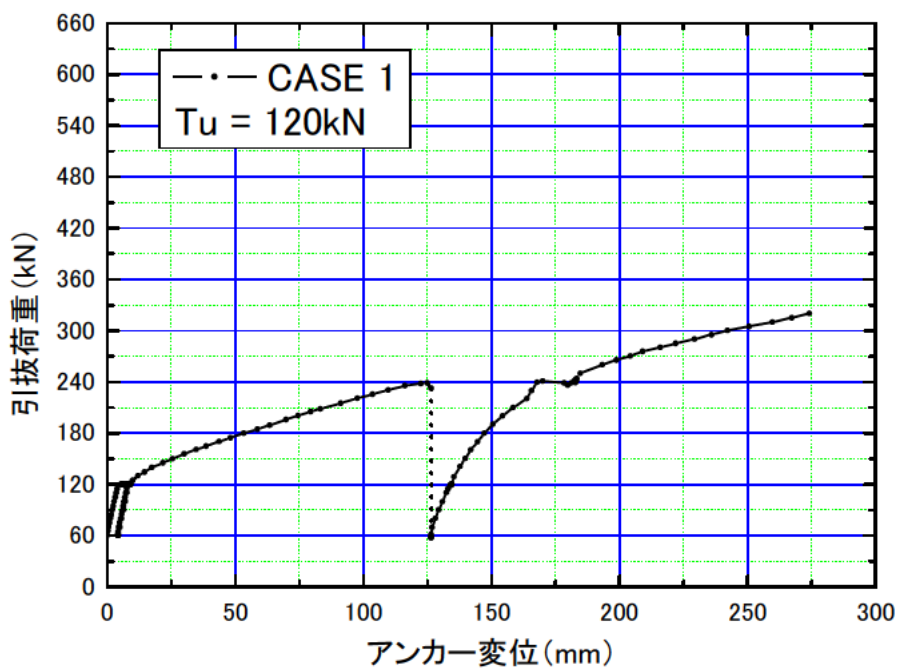


図-2.38 荷重－変位曲線（ケース 1）

【 ケース 2 】 : 袋+2 ステップ・鉛直打設

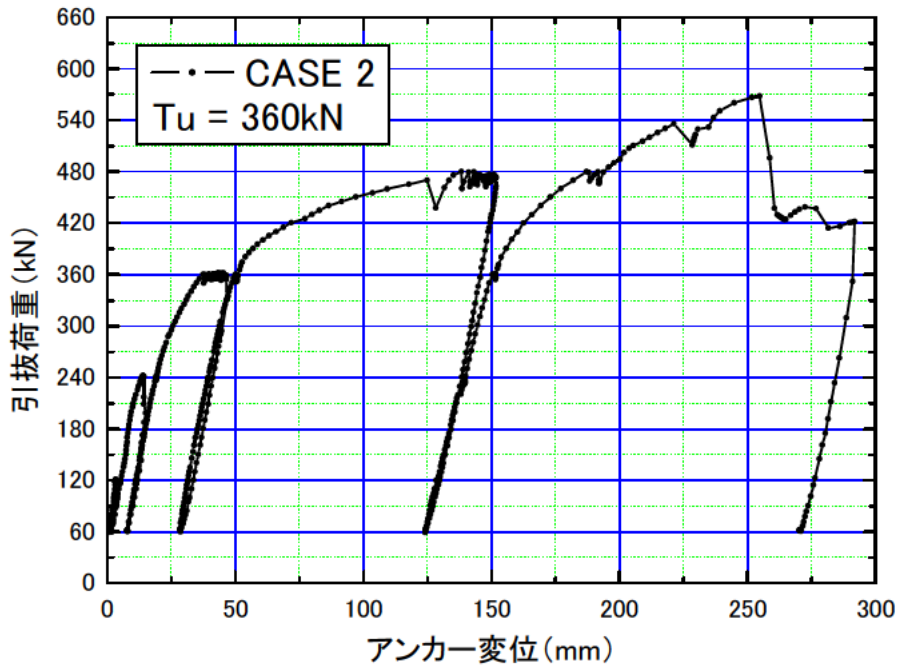


図-2.39 荷重-変位曲線 (ケース 2)

【 ケース 3 】 : 袋+3 ステップ・鉛直打設

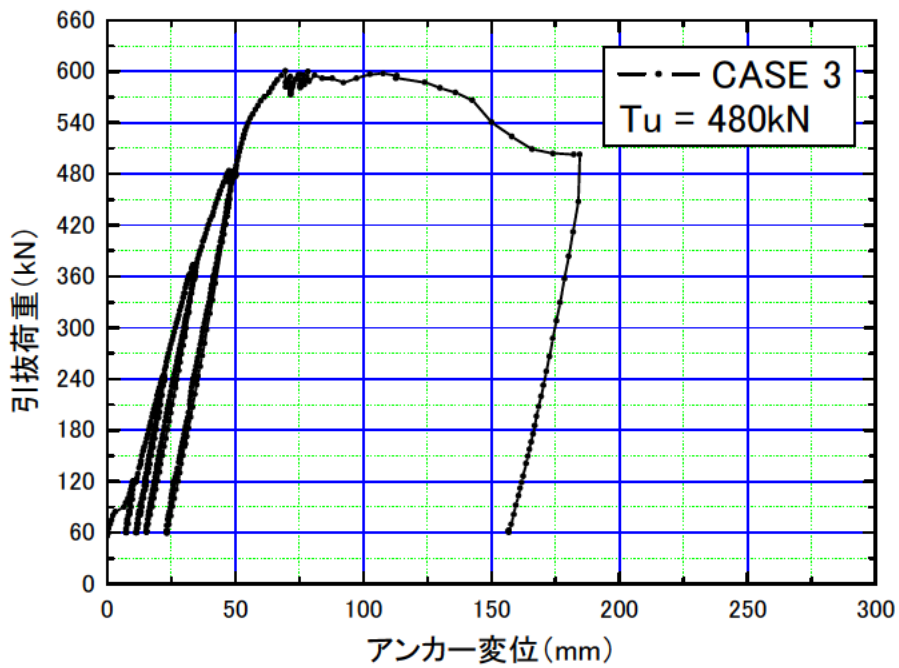


図-2.40 荷重-変位曲線 (ケース 3)

【 ケース 5 】 : 袋+6ステップ・斜め打設

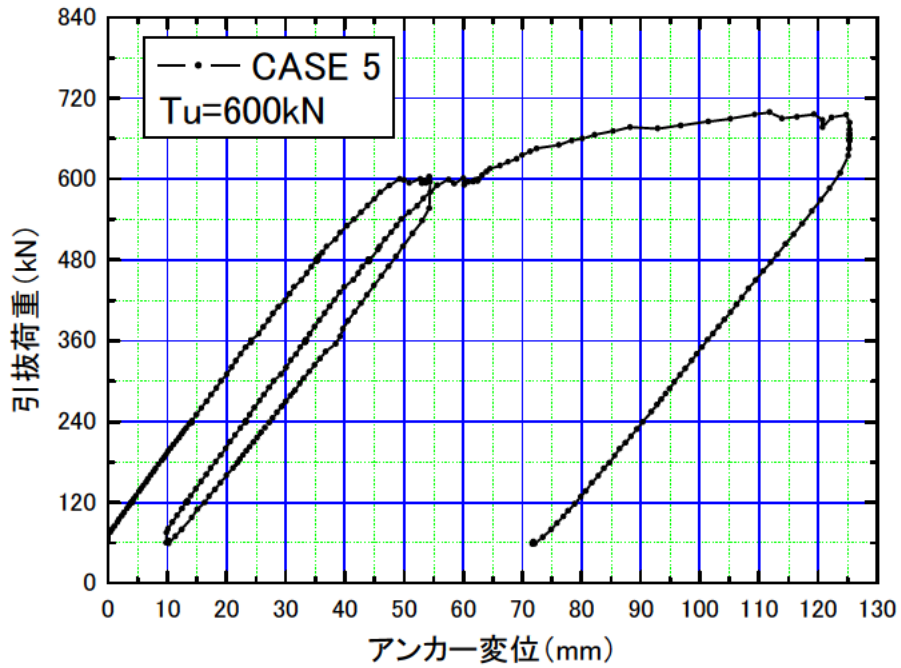


図-2.41 荷重—変位曲線 (ケース 5)

【 ケース 6 】

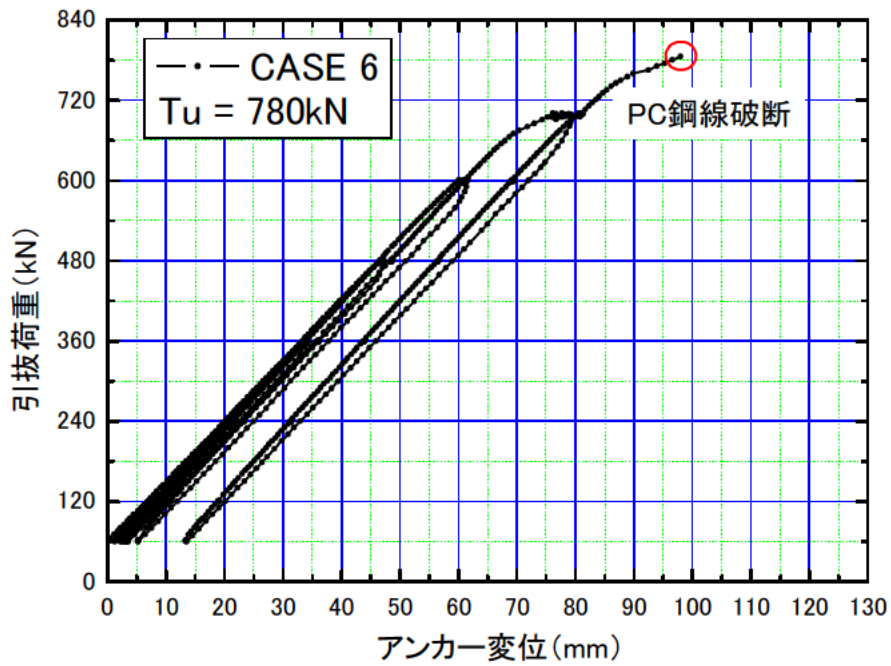


図-2.42 荷重—変位曲線 (ケース 6)

【 ケース 6 】

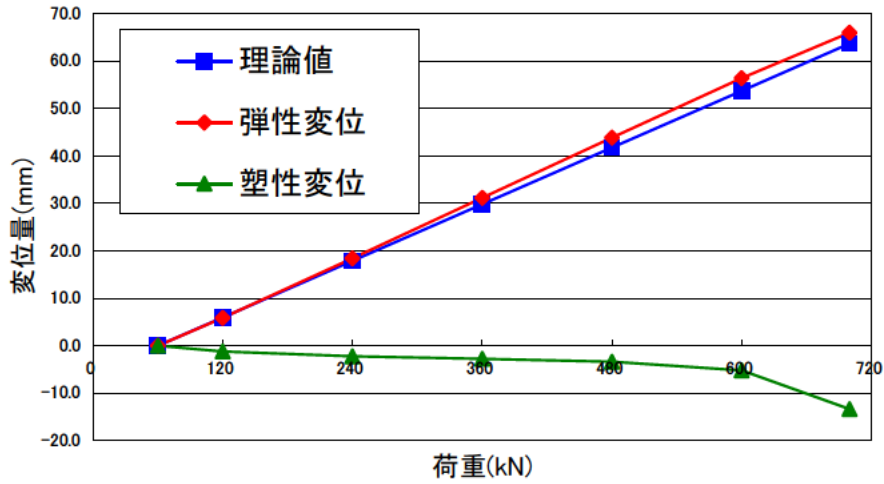


図-2.43 弾塑性図 (ケース 6)

図-2.44 はすべてのケースについて、圧入量を横軸に、極限引抜荷重を縦軸にとり整理したものである。圧入量を増やすことで、アンカー耐力を大きくできることがわかる。図には、地盤工学会のアンカーマニュアルに掲載されている推定式による試算値を破線で示している。このように両者にはよい相関があるため、本来発揮されるべきアンカー耐力が得られたと判断することができる。

ケース 5,6 において、本研究の最大の目標である極限引抜耐力 600kN を満足することができた。

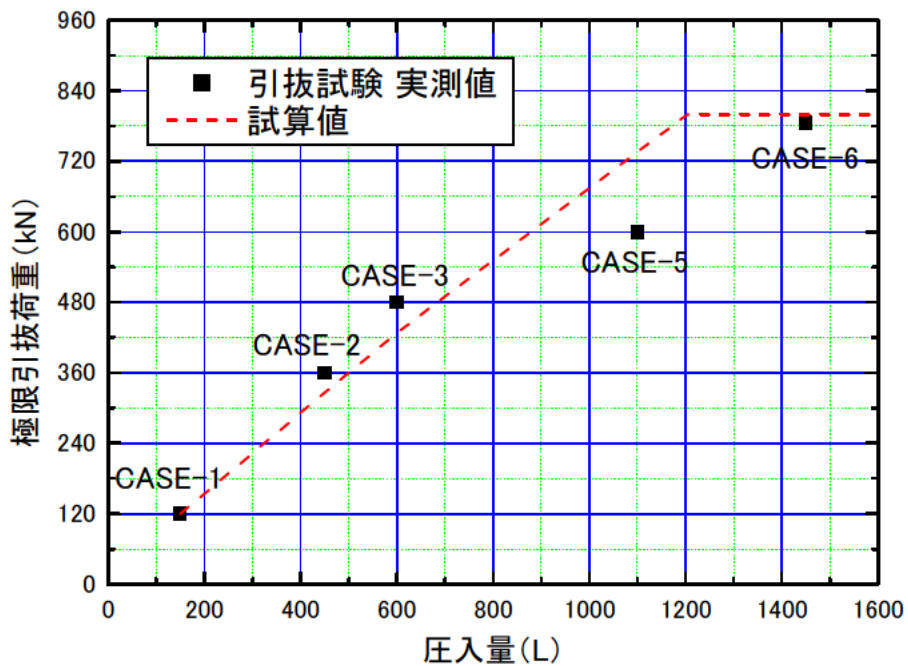
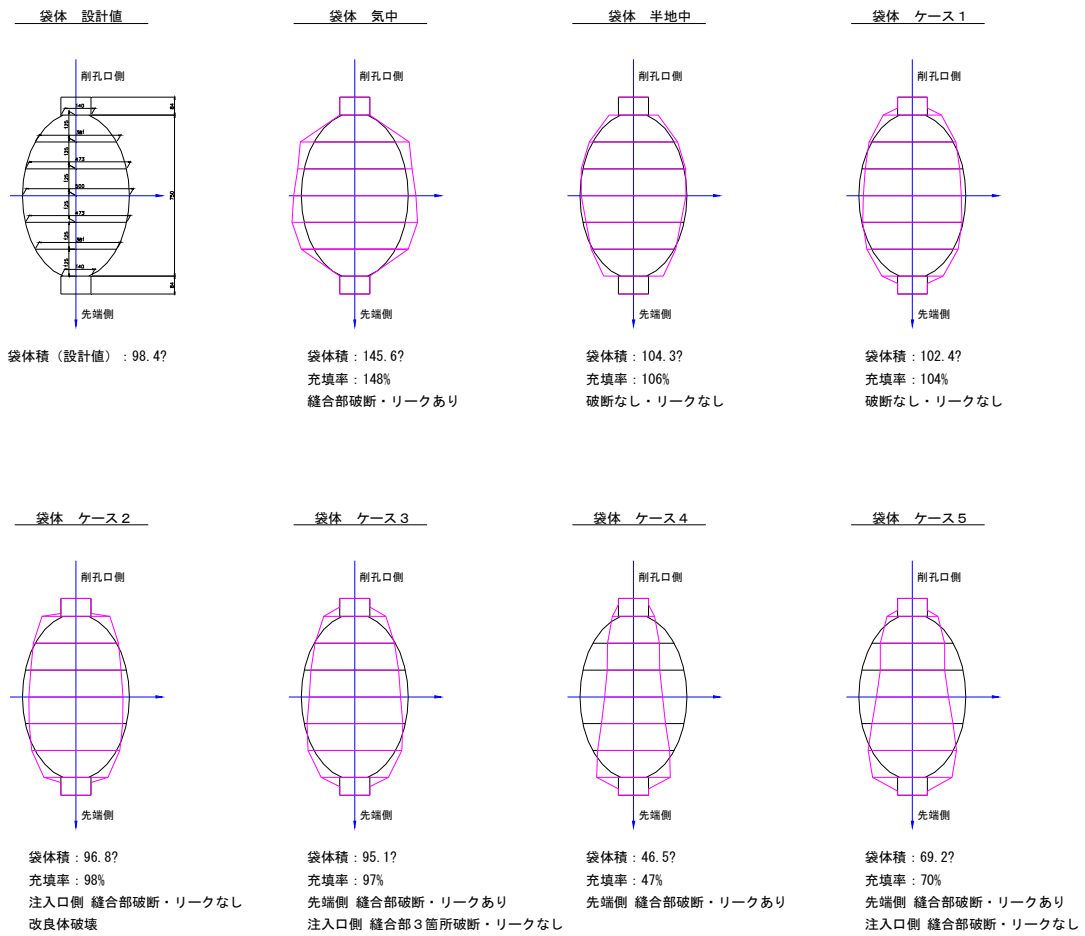


図-2.44 圧入量－極限引抜荷重関係

2. 4. 9 耐荷体の出来形確認

ピットの土砂を掘り出し、耐荷体部分の出来形を確認、計測を行った。



半地中



CASE-1



CASE-2



CASE-3



CASE-4



CASE-5

鉛直のケースにおいては、概ね 100%の充填率を得ることができた。しかし、斜め仕様のケースでは、約半分程度の充填率で袋材の縫合部が破断しリークしていた。袋材の破断は、いずれのケースにおいても縫合部で発生し、加えて先端付近で発生していた。これは、材料吐出口に近い部分に、大きな圧力がかかるためと思われる。

支圧拘束材と袋材のかしめ部分から、CPG 材料がリークしているような状況は確認されず、かしめ部には十分な強度が確認された。

2. 4. 10 アンカー体の出来形確認

CASE-1 出来形

パッカーのみで実施しており、CPG改良体は作成していない。

CASE-2 出来形

圧入時において、地表面に微小なクラックは確認されていたが、地上への材料のリークは発生しなかった。

後日、掘り出しを行った結果、パッカー先端より約 4.0mまで、材料が充填されていた。

計画のCPG改良長(0.66m)に対して、上部約 2.2mに材料がリークしていたこととなる。



掘出状況



出来形

改良体を、ピットから引上げた際に破損してしまった為、改良体の形状寸法等については測定できなかった。

CASE-3 出来形

圧入時において、CPG 3～4 ステップ圧入中に地表面に材料のリークが発生している。
後日、掘り出しを行った結果、ケーシングに沿ってリークした状況が確認された。



掘出状況



出来形 (パッカー+CPG改良範囲)



出来形(パッカー上部接続状況)



出来形 (パッカー+CPG改良範囲)



出来形 (リーク分)

圧入前にケーシングを引上げた範囲（先端から約 2.7m）では、CPG 材料と PC 鋼より線がほぼ偏芯がない状態であった。PC 鋼より線が、圧入時に CPG 材料によって広がっている状態が確認された。ケーシング引上げ位置以上の部分については、ケーシング外周に沿って CPG 材料がリークしている状況が確認された。

袋型耐荷体と CPG 改良部の接続部分については、周長から換算して、直径 20cm 程度の大きさで覆われていた。

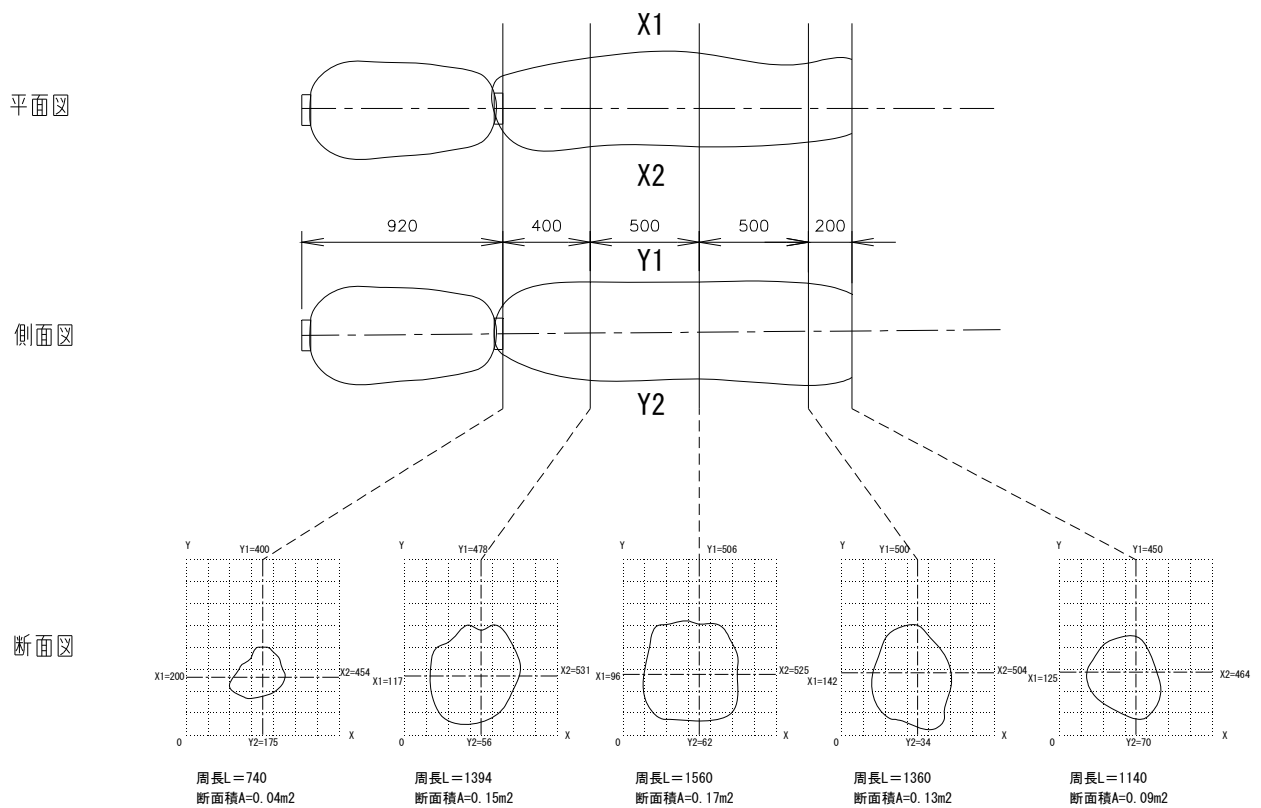


図-2.45 CASE-3 出来形測定図

表-2.21 CASE-3 出来形測定表

測点	断面積 (m ²)	周長 (m)	区間距離 (m)	区間平均面積 (m ²)	区間平均周長 (m)	区間体積 (m ³)	区間周面積 (m ²)
1	0.04	0.740					
			0.40	0.10	1.07	0.04	0.43
2	0.15	1.394					
			0.50	0.16	1.48	0.08	0.74
3	0.17	1.560					
			0.50	0.15	1.46	0.08	0.73
4	0.13	1.360					
			0.20	0.11	1.25	0.02	0.25
5	0.09	1.140					
合計						0.22	2.15

CASE-4 出来形

圧入時において、PC鋼より線を切断してしまったため、評価はできない。後日、掘り出しを行った結果、CPG材料は注入口付近までリークしていたことが確認された。パッカー付近からすべての部分において、CPG材料は左右に大きく偏芯していた。



掘出状況



断面



出来形 (リーク分)



出来形 (パッカー+CPG改良範囲)

CASE-5 出来形

圧入時において、地表面に微小なクラックは確認されていたが、地上への材料のリークは発生しなかった。後日、掘り出しを行った結果、パッカー先端より約 6.0m まで、材料が充填されていた。これは、計画の CPG 改良長 (1.2m) に対して、上部約 3.7m に材料がリークしていたこととなる。

CPG 改良部はすべての部分において上下に大きく偏芯しており、CPG 材料は、改良中心(削孔位置)から上部に集中し、下部にはほとんど無かった。



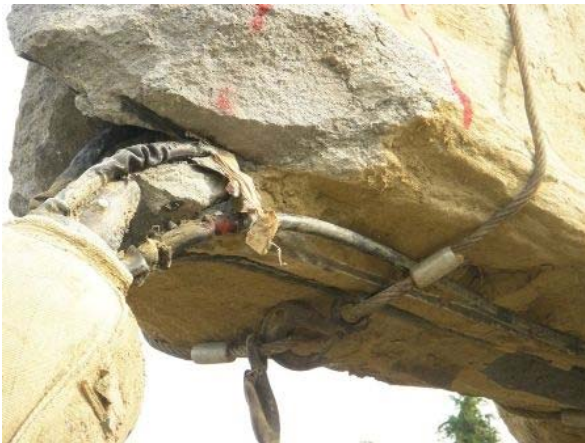
掘出状況



出来形 (パッカー上部接続状況)



出来形全景



出来形（パッカー上部付近、底部分）



出来形（CPG圧入部、断面）

改良体引上げ後、CPG改良体について、出来形の計測を行った。

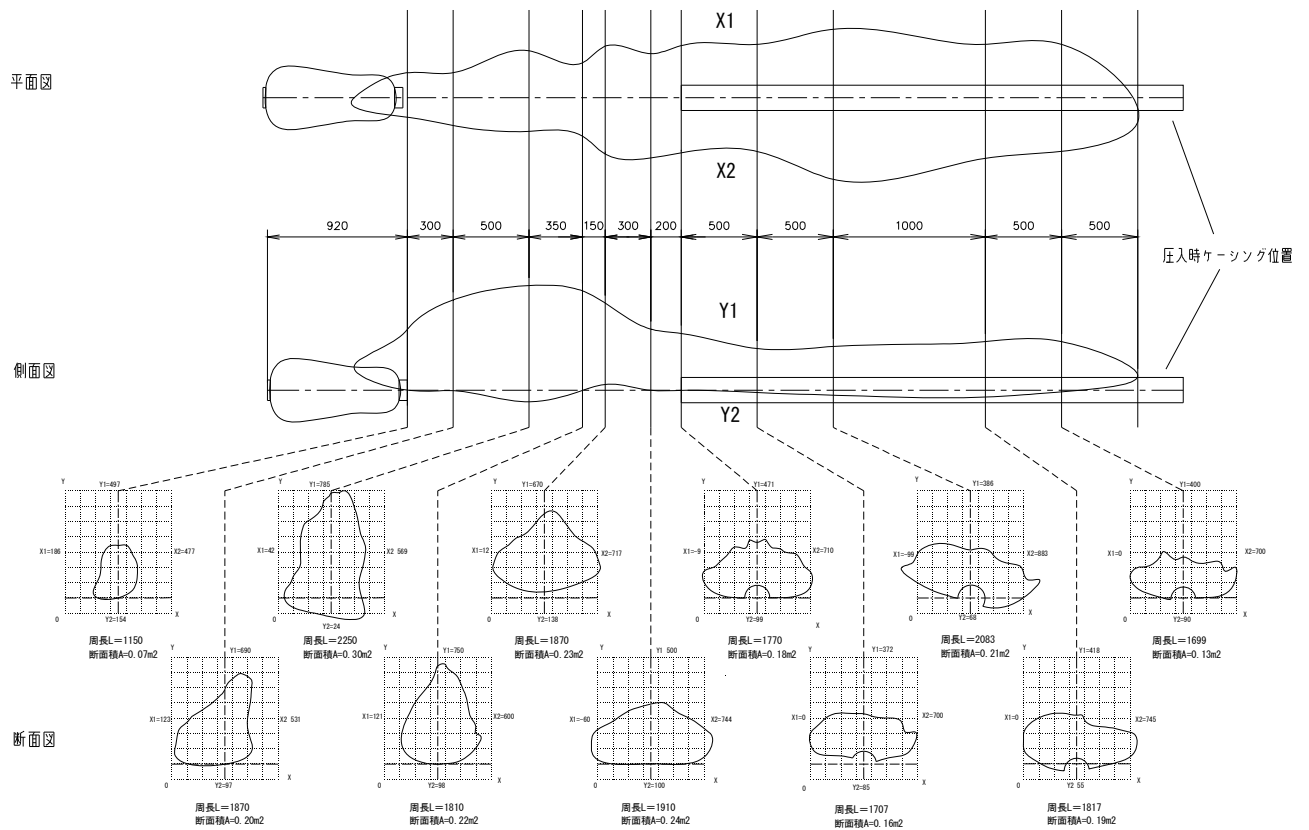


図-2.46 CASE-5 出来形測定図

表-2.22 CASE-5 出来形測定表

測点	断面積	周長	区間距離	区間平均面積	区間平均周長	区間体積	区間周面積	
	(m ²)	(m)		(m ²)	(m)		(m ²)	(m ²)
1	0.07	1.150	0.40	0.035	0.575	0.014	0.23	
			0.30	0.135	1.510	0.041	0.45	
2	0.20	1.870	0.50	0.250	2.060	0.125	1.03	
			0.35	0.260	2.030	0.091	0.71	3.64
4	0.22	1.810				0.418	計画範囲	計画範囲
5	0.23	1.870	0.15	0.225	1.840	0.034	0.28	
			0.30	0.235	1.890	0.071	0.57	
6	0.24	1.910	0.20	0.210	1.840	0.042	0.37	
			0.50	0.170	1.739	0.085	0.87	
7	0.16	1.707	0.50	0.185	1.895	0.093	0.95	
			1.00	0.200	1.950	0.200	0.491	5.08
9	0.21	2.083	0.50	0.160	1.758	0.080	0.88	
			0.50	0.07	0.850	0.033	0.43	
10	0.19	1.817				0.491	リーク範囲	リーク範囲
合計						0.909	0.909	8.72

実施圧入量（パッカー以外）9500に対して、約9100分のボリュームが計測された。

出来形と実施注入量との比較

実施した圧入量と、出来形を計測した結果とを比較した。

表-2.23 圧入量・出来形比較

	パッカー部分				パッカー+先端グラウト(ケーシング位置迄)				注入口側グラウト(リーク分)				合計		
	実測体積 (m ³)	重量 (kg)	換算体積 (m ³)	誤差	実測体積 (m ³)	重量 (kg)	換算体積 (m ³)	誤差	実測体積 (m ³)	重量 (kg)	換算体積 (m ³)	誤差	体積 (m ³)	実施注入量 (m ³)	体積/ 実施注入量
CASE-1	0.102	232.8	0.102	99.7%	—	—	—	—	—	—	—	—	0.102	0.15	68.3%
CASE-2	0.097	204.4	0.090	92.6%										0.45	
CASE-3	0.095				0.315	702.4	0.308	97.8%		354		0.155	全体 0.470	0.60	78.4%
													パッカー部分 0.095	0.15	63.4%
													CPG改良体部分 0.375	0.45	83.4%
CASE-4	0.047					1244	0.546			855		0.375	全体 0.921	1.10	83.7%
													パッカー部分 0.047	0.15	31.0%
													CPG改良体部分 0.874	0.95	92.0%
CASE-5	0.069				0.487	1087	0.477	97.9%	0.491	930	0.408	83.1%	全体 0.978	1.10	88.9%
													パッカー部分 0.069	0.15	46.1%
													CPG改良体部分 0.909	0.95	95.7%

単体重量:2.28g/cm²とする

体積は赤字を採用値とする。

「パッカー」欄は、袋材内の圧入量、「パッカー+先端グラウト」欄は袋材内と、ケーシング引上げ位置までの圧入部分、「注入口側グラウト」欄は、リーク部分を示す。

実測できた体積については、その値を使用し、破損等で測定のできなかつた部分については重量からの換算体積にて算出した。単位体積重量については、現場で実測した値(2.28g/cm²)を採用している。

各ケースとも、実測体積と重量換算した体積とは、ほとんど誤差が無い状態であった。

パッカー部分については、袋材破断等により、回収できない部分もあったが、計画注入量 1500 に対して、1000程度分の体積しか残存していなかったことが確認された。パッカー以外の CPG 改良部分については、実施注入量に対して、90%以上の出来型が確認された。(CASE-3 については、掘出し時に一部破損し、未測定の部分もあるため、実際は 90%以上であると思われる。)

2. 4. 1 1 本実験の総括

本実験では、極限引抜耐力 600kN を満足するアンカー体を造成することを目的として、試験地盤を対象に、削孔からアンカー体挿入、グラウト注入までの一連の施工を行った。また、養生後、引抜試験を行い、強度特性について考察するとともに、試掘を行い造成したアンカー体の出来形の確認を行った。

本実験から得られた知見を以下に箇条書きでまとめる。

(1) CPG 圧入

- ・ 高強度仕様に配合された CPG 材料の圧送性は良好であり、N 値 10 の砂地盤で最大圧送圧力 3.0Mpa 程度と安定した圧送圧力で圧送することができた。また、配合強度は標準養生で 18N/mm² 以上の強度を確保しており、配合においての課題はクリアできたと思われる。
- ・ ケーシング内の CPG 材料の逆流を防止する逆流防止弁は機能していたものの、複数箇所に配置した逆流防止弁の先端の 1 箇所目で確実に防止できていたわけではない。より確実な仕様を考える必要がある。
- ・ 鉛直打設の実験ケースにおいて、ケーシング脇から材料がリークする現象が生じた。一番の原因は土破りが小さいためと考えられるが、削孔時に周辺地山を乱さない配慮が必要であろう。
- ・ 圧入管の取り外し作業や引き上げ作業において、苦勞する場面が見られた。見えないところ作業であるため、目印となるガイドを設けたり、PC 鋼より線、圧入管、逆流防止弁の取り合いの見直しを行う必要があるかもしれない。
- ・ PC 鋼より線引き込まれ防止装置が適切に機能したことにより、圧入時に PC 鋼より線が引き込まれることはなかった。
- ・

(2) 耐荷体

- ・ 袋材の支圧拘束材への取り付け作業は多少の手間があり、取り付ける人によって個人差が出てくると思われた。実用化に当たっては工場での取り付け作業がよいと考える。
- ・ 拡大前の耐荷体寸法はぎりぎりケーシング内に収まる寸法であった。今後は、袋材の厚みを薄くする工夫とより大きな内径のケーシングを使用することが対応策と考えている。
- ・ 支圧拘束材と袋材との付着強度は予備実験②で 680kN、ケース 6 で 720kN 以上であり、極限引抜き力 600kN 以上を満足できた。
- ・ 袋材が適切に拡大されているかどうかを流量と圧力の関係から評価することは、困難なケースがあった。施工管理における今後の課題である。
- ・ 斜め打設のケースにおいて、袋材に十分な充填がされていないケースが見られたが、極限引抜き力は想定どおりの荷重が得られていることを考えると、耐荷体としての機能は果たしていると判断できる。

(3) PC 鋼より線

- ・ PC 鋼より線が破断したのは、ケース 6 のみであった。ケース 6 での破断荷重は 720kN であり、極限引抜き力 600kN を大きく上回っていることから、要求される性能を満足したと評価できる。

(4) アンカー体

- ・ 試掘したアンカー体の出来形は全体的に鉛直上方向へ発達している傾向が見られた。これは、今回の実験では土被り高が 3.0~4.0m 程度と小さかったことが原因の 1 つと考えている。
- ・ 既往の設計式による試算値と今回実験で得られた実験値の間にはよい相関が見られる。すなわち、本来発揮されるべきアンカー耐力が得られたと解釈している。
- ・ ケース 5,6 において、極限引抜き耐力 600kN を満足するアンカー体を造成することができた。出来形形状にやや不安の残る結果となったが、性能は当初の目標を達成しており、最も重要な課題はクリアすることができた。

3. 研究のまとめ

3. 1 研究の成果

「2. 実験結果」より得られた本研究の成果をまとめる。

1) アンカー構造

アンカーの構造は図-3.1 に示すように、PC 鋼より線をターンさせた支圧拘束材を袋材にて覆い、グラウトの加圧注入で袋材を削孔径以上に膨張させることにより耐荷体を作成する。加えて、コンパクショングラウチング (CPG) の手法により耐荷体上部の地盤中にグラウト体を造成するものとした。

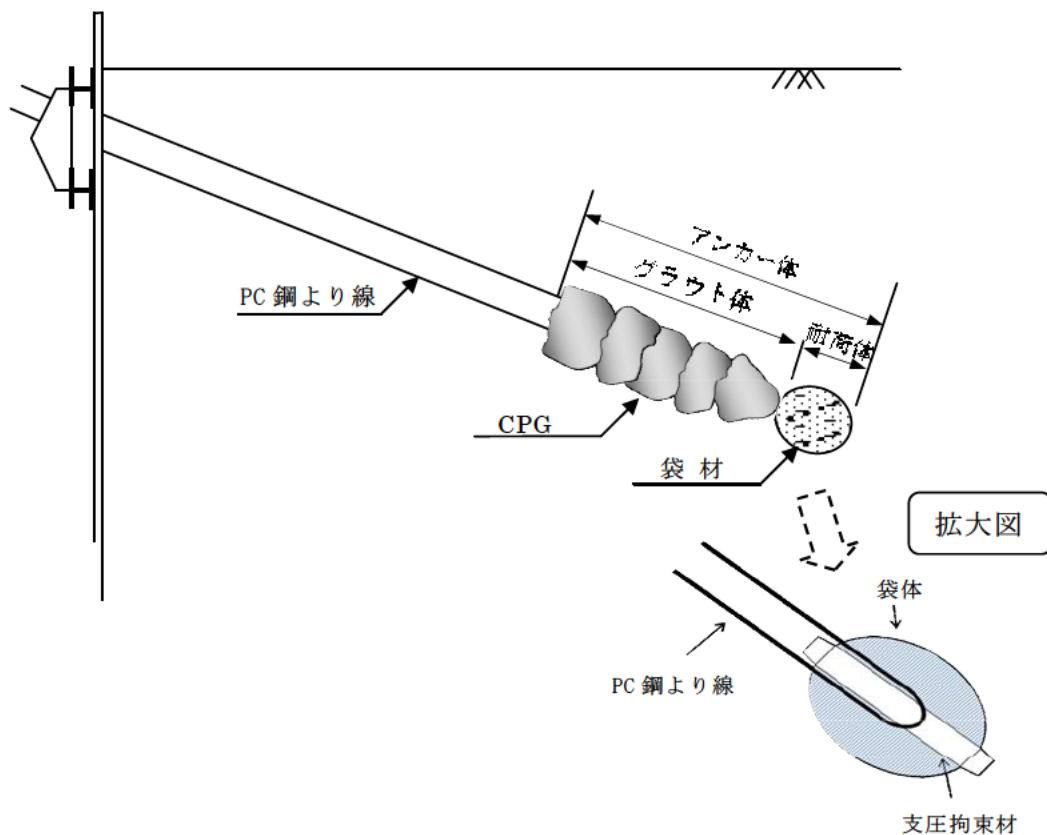


図-3.1 CPG アンカー構造図

削孔径 ($\phi 165\text{mm}$) 以上の 500mm 程度まで膨張させた耐荷体と、700mm 程度の径に造成したグラウト体によって、周辺地盤の締固め効果から地盤との摩擦抵抗が強化される。また、アンカー体が太径化されたことから、周辺地盤との摩擦抵抗に加えて支圧抵抗が期待できる。

2) PC 鋼より線

アンカー材に用いる PC 鋼より線は、本研究においては許容アンカー力 400 kN 程度 (極限耐力 600 kN 以上) を満足させる必要があることから、7 本より 15.2mm を 4 本 1 組で使用した。

3) 注入材

CPG アンカー工法で使用する注入材は、CPG 骨材、固化材および水で構成され、表-3.1 に示す配合を標準とする。

表-3.1 注入材の標準配合 (1m³あたり)

材 料	配合量	備 考
CPG アンカー骨材	1,520kg	絶乾状態
早強セメント	380kg	
水	320kg	スランプ値により調整

注入材が浸透や脈状に注入されることなく、注入点付近で地盤を押し広げて充填固結する必要があることから、注入材は低流動のモルタルを使用し、骨材は適切な量の礫分と細粒分を専用に配合した CPG 骨材を使用する。

CPG 骨材の最適粒度分布図を図-3.2 に示す。

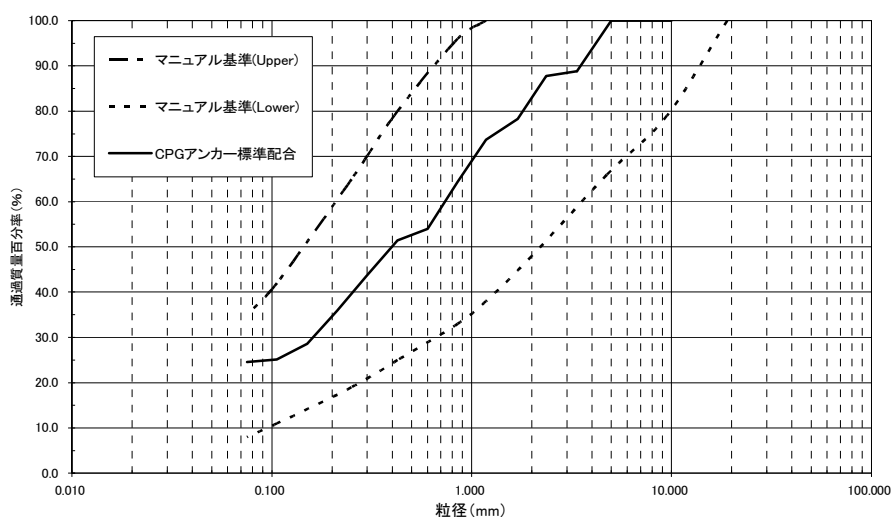


図-3.2 CPGアンカー工法の標準配合骨材粒度分布

注入材の水分量はスランプ試験により管理され、7cm 以下を管理値とした。品質管理値を表-3.2 に示す。

表-3.2 注入材の品質管理値

管理項目	管理値
スランプ値	3~7cm
圧縮強度	$\sigma = 18 \text{ N/mm}^2$ 以上

4) 耐荷体

CPG アンカーに用いる耐荷体は、袋材、支圧拘束材、および袋材に充填される注入材により構成される。

耐荷体とは、PC 鋼より線の引張り力をグラウト体に伝達する機能を有するアンカーの一部をいう。CPG アンカーでは、大きな引張り力に対応するため削孔径以上に拡大する袋材を有した耐荷体を使用する。

PC 鋼より線の引張り力は、支圧拘束材に伝達される。支圧拘束材には、少なくとも 1 枚以上の支圧プレートが配置されており、支圧拘束材の荷重は、支圧力によって注入材が充填された袋材に伝達される。このようにして PC 鋼より線から伝達された袋材の荷重は、大きな受圧面積により効率的にグラウト体へ伝達することができる。袋材、支圧拘束材および袋材に充填された注入材を総じて耐荷体と呼ぶ。

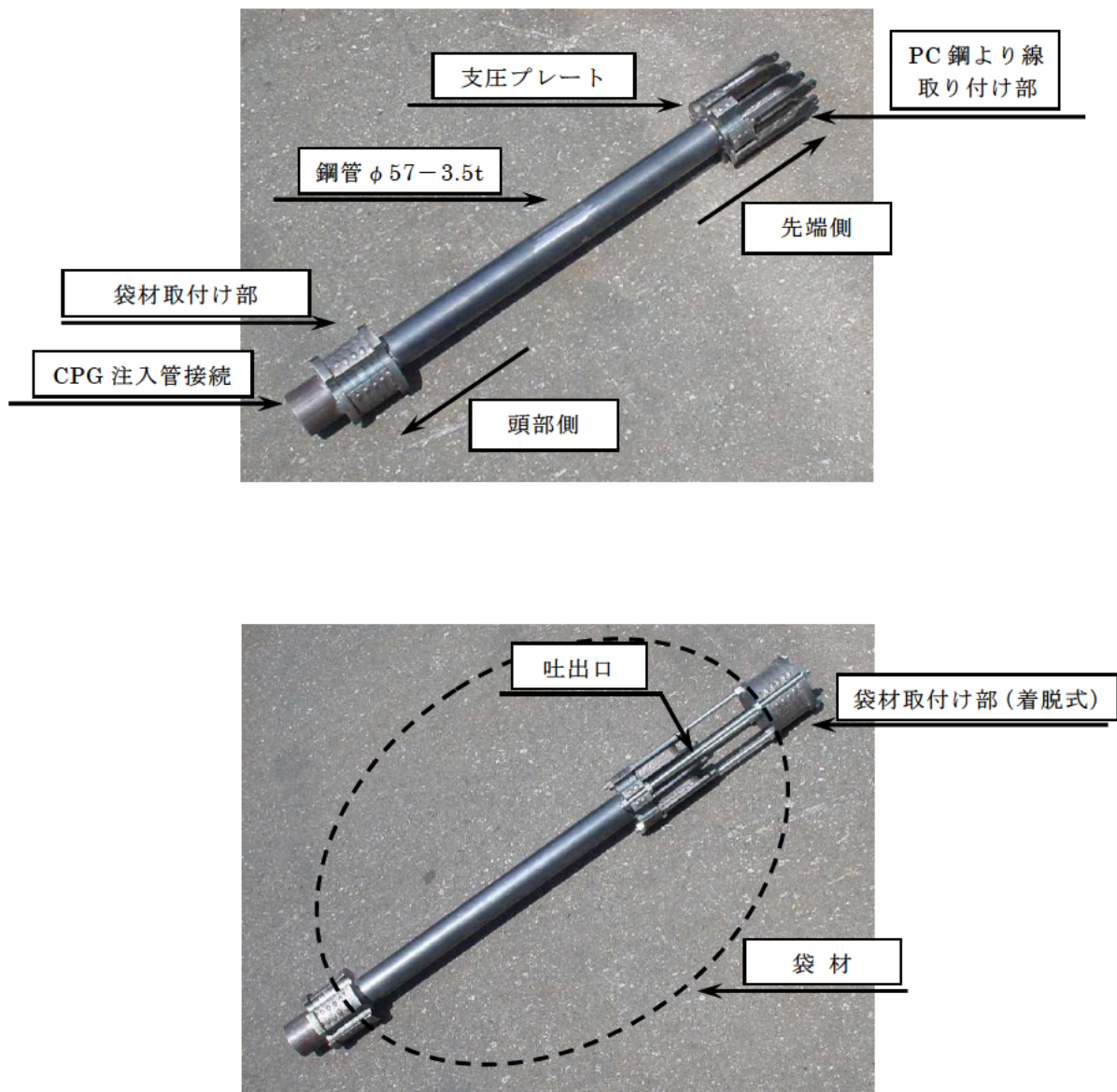


図-3.3 標準的な支圧拘束材

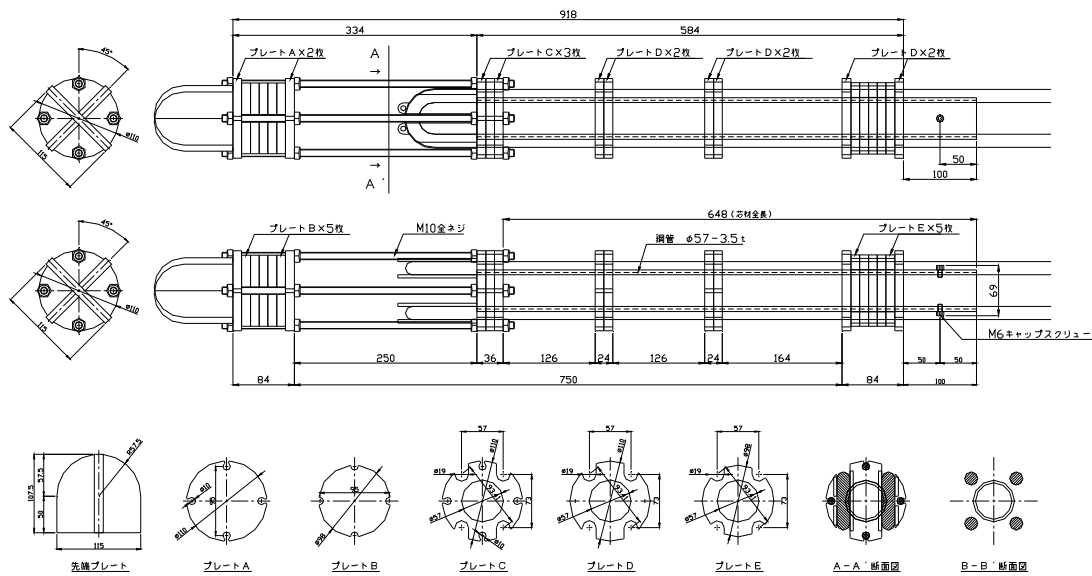


図-3.4 支圧拘束材構造図

袋材には、CPG の圧入圧力によって破断せずに、拡大することができる耐圧性能が要求される。また、広い受圧面積をもつことが、効率的にグラウト体へ荷重を伝達するうえで重要であるため、ここでは $\phi 500\text{mm}$ 以上の拡大径を有するものとする。

表-3.3 袋材の材料特性

名称	規格
材質	ポリエステル
耐圧強度	1.5MPa 以上
引張強度	800kgf/(3cm) 以上
厚さ	1.24mm
定格容量	150 ℓ
拡大後の定格寸法	$\phi 500\text{mm} \times \text{L}750\text{mm}$ (楕円球体)



写真-3.1 支圧拘束材



写真-3.2 袋材取付け状況



写真-3.3 耐荷体拡張状況

以上の成果の確認として、(独) 土木研究所内の土工管理実験棟内野外ピットにおいて実大実験を行った。

施工性は大きな問題なく行うことができ、グラウト材注入圧力は概ね 2～3 Mpa 程度で推移した。



写真-3.4 注入状況

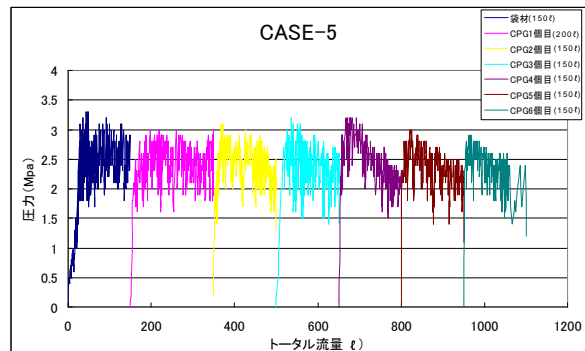


図-3.5 圧力-流量グラフ

引抜試験を行った結果、当初目標である極限耐力 600kNを確保することができた。



写真-3.5 引抜試験状況

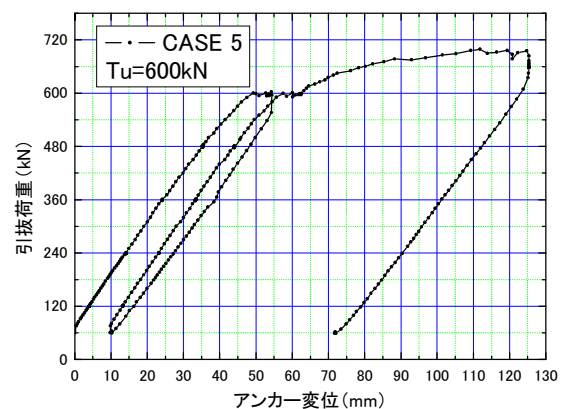


図-3.6 荷重-変位曲線

掘り出しにより出来形を確認し、グラウト材が予定改良範囲より上部にリークしていることが確認された。また、斜角度で打設したものについて、グラウト材部分は注入材料が上下に大きく偏芯している状態であった。



写真-3.6 アンカー体 出来形

出来形形状に課題は残ったが、本研究の開発目標についてはクリアすることができた。

3. 2 今後の課題

実大実験のなかで抽出された、今後の開発課題を以下にまとめる。

表-3.4 開発課題一覧

種別	細別	課題	今後の対応・対策案
アンカー材	拘束材	・拘束材へのPC鋼より線の取付け作業は、人力作業であり、部材を傷つける恐れがある。	・専用の取付機械を製作することで解決できる。
	袋材	・袋材の取付け作業において、取付ける人による品質のばらつきが生じる。	・現場組立ではなく、工場でテンドン加工を行うことで、対応できる。
	耐荷体	・耐荷体の径が大きいため、ケーシング内に収まりにくい。	・袋の縫い代を小さくすること現行よりもスリムにできる。 ・内径の大きな本工法専用のケーシングを製作することで対応できる。
施工管理	圧入	・圧入時に袋が拡大しているかどうか確認できない。	・所定量を圧入し、引抜強度が得られることを確認することで、アンカー構造として許容する。
	逆流防止 (ケーシング内側)	・現行のものでは1か所に設けただけでは完全に逆流を防止することができず、複数個所に逆流防止材の設置が必要である。	・構造を根本的に見直し、1カ所で止められる逆流防止装置が必要である。
	逆流防止 (ケーシング外側)	・ケーシング外側からのリークを現段階では防止する措置をとっていない。	・ケーシング外側における逆流防止策の考案が必要である。
	PC鋼線引き込まれ防止	・装置の取り付け取り外しがかなりの手間となる。	・より施工性に優れた装置の改良が必要である。
	ステップアップ	・耐荷体と圧入管の切り離し作業が確実ではない。	・耐荷体と圧入管の接続方法（構造）の改良が必要である。

CPG アンカー設計・施工マニュアル(案)

平成 21 年 3 月

独立行政法人 土木研究所
三信建設工業 株式会社
岡三リビック 株式会社
大日本土木 株式会社

CPG アンカー設計・施工マニュアル 目次

はじめに	84
第1章 概要	
1.1 工法の特徴	85
1.2 適用フロー	87
1.3 適用地盤	88
第2章 材料	
2.1 注入材料	89
2.2 耐荷体	91
2.2.1 支圧拘束材	92
2.2.2 袋材	94
2.3 引張り材	95
2.4 定着具	96
第3章 調査	
3.1 一般	97
3.2 計画	98
3.3 調査	99
第4章 設計	
4.1 総則	100
4.2 設計一般	101
4.3 基本設計条件	102
4.4 荷重	103
4.5 アンカーの配置	104
4.6 アンカーの長さ	106
4.7 設計アンカー力	107
4.8 許容アンカー力	108
4.9 テンドンの許容引張り力の検討	110
4.10 テンドンの極限拘束力	111
4.11 極限引抜き抵抗	112
4.12 構造物全体の安定	113

第5章 施工	
5.1 一般	114
5.2 施工計画	115
5.3 施工手順	116
5.4 施工機械	118
5.5 施工管理	119
5.6 削孔	120
5.7 テンドン組立加工	121
5.8 テンドン挿入	122
5.9 アンカー体造成	123
5.10 緊張定着	126
第6章 試験	
6.1 一般	127
6.2 試験の計画	128
6.3 基本調査試験	129
6.4 品質保証試験	132

はじめに

CPG アンカー工法は土砂地盤を対象とした新しい高耐力アンカーであり、土砂地盤において所定の抵抗力を発揮させるために、地盤改良技術の一種である「コンパクショングラウチング (CPG)」とグラウンドアンカーを組み合わせる構造に特徴を有するアンカー工法である。

本工法は山留め壁工事の工期短縮やコスト縮減などの効果を期待し、以下の性能を主な目標として開発が進められた。

- ・ 対象地盤：粘性土 N 値 4 程度、砂質土 N 値 10 程度
- ・ 許容アンカー力 400kN 程度（極限耐力 600kN 以上）
- ・ アンカー長 10～15m 程度以内で施工が可能

CPG アンカー工法の開発は、独立行政法人土木研究所との共同研究「土砂地盤を対象とした高耐力アンカーの開発に関する研究（その2）」として平成 18 年度～20 年度の 3 カ年から取りかかり現在に至るものである。開発は、（独）土木研究所と三信建設工業（株）、岡三リビング（株）、大日本土木（株）の民間 3 社による共同開発体制であり、各社の得意技術を集約し合理的な開発を進めた。これまでの研究開発成果を基に、ここに「CPG アンカー設計・施工マニュアル（案）」をまとめる。

本マニュアルは CPG アンカーに適用するものである。なお、本マニュアルと合わせて下記の要領も参照されたい。

- ・「地盤工学会基準 グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（JGS4101-2000）」
----（社）地盤工学会

第1章 概要

1.1 工法の特徴

(1) CPG アンカー工法は、コンパクショングラウチング (CPG) 手法^{*1)}により地盤中に加圧注入され造成されるグラウト体を有し、その奥部に同様の手法により削孔径以上の径に膨張させることができる袋材を有した耐荷体を配置して所定の定着力を発揮させるアンカー工法である。グラウト体と耐荷体を合わせて「アンカー体」と呼ぶ。

(2) グラウト体は直径 700mm 程度、長さ 2m 程度となり、周辺の摩擦抵抗に加え支圧抵抗が期待でき、摩擦型アンカーに比べて大きな引抜き抵抗が発揮される。

(3) アンカー体は加圧注入により地盤を押し拡げて造成されるため、周辺地盤の締固め効果により、地盤との摩擦抵抗力が強化され、N=10 程度の土砂地盤においても大きな摩擦抵抗力が発揮される。

(4) 耐荷体も同様な手法により太径化できるため、耐荷体からグラウト体への引張り力の伝達が広い受圧面積で行うことができ、大きな引張り荷重に対応することができる。

(5) 耐荷体は袋材を用いることで出来形形状を安定化できる。

(6) PC 鋼より線は、支圧拘束材を介して袋材に伝達される。

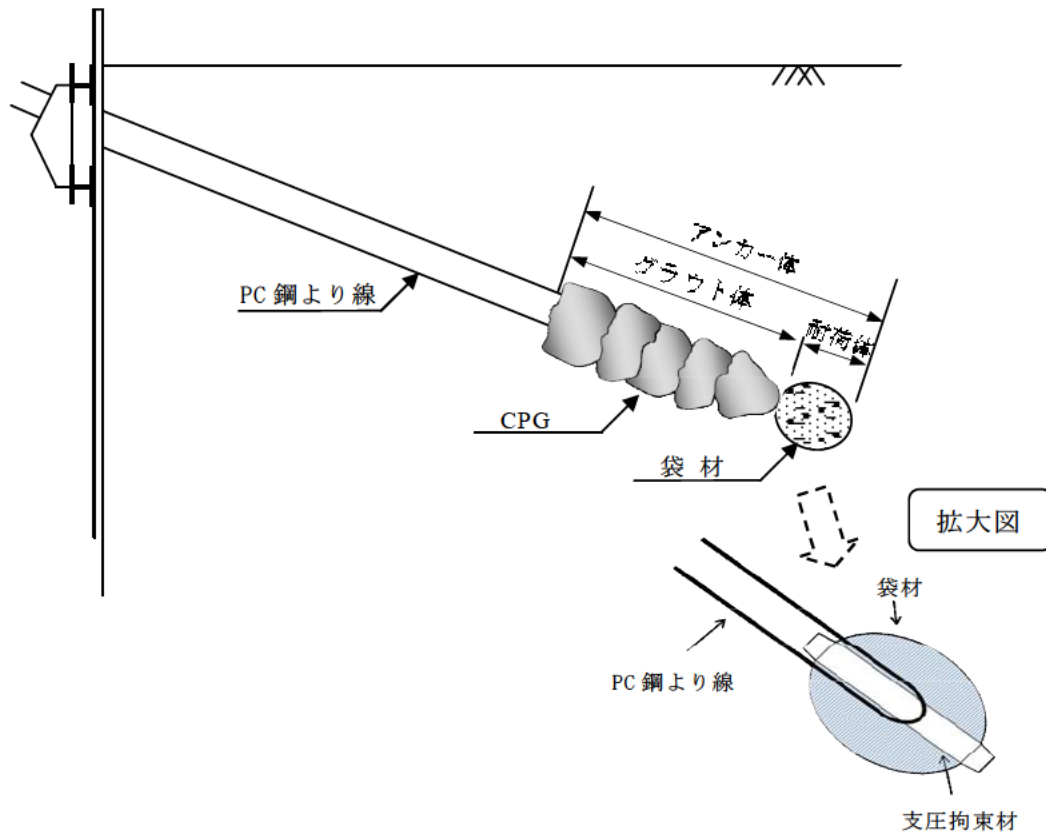


図-1.1 CPG アンカー工法概要

*1) : コンパクショングラウチング デンバーシステム

コンパクショングラウチング デンバーシステムは「静的圧入締固め」であり、スランプ5cm以下の極めて流動性の低いモルタルを振動や衝撃を全く加えずに地盤中に圧入する技術である。圧入されたモルタルはその低い流動性ゆえに迷走することなく所定の位置に固結体を造成する。この固結体の体積の増加が周辺地盤を圧縮し、密度を増大させる。

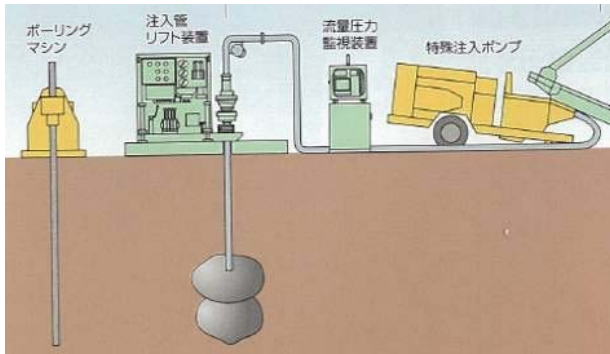


図-1.2 CPG 工法 施工模式図

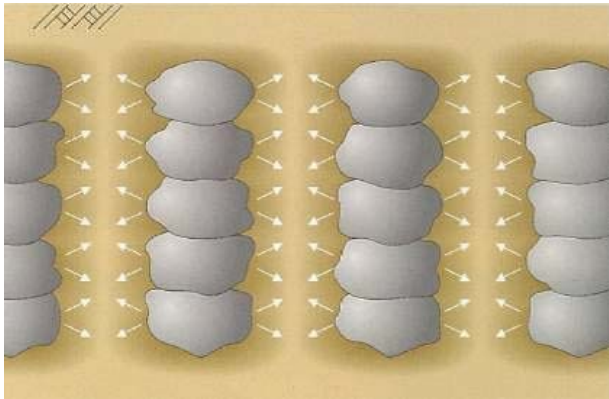


図-1.3 CPG 工法 締固め模式図



図-1.4 CPG 工法 固結体出来形

1.2 適用フロー

CPG アンカーの計画，適用は図-1.5 に示す適用フローに準じて実施する。

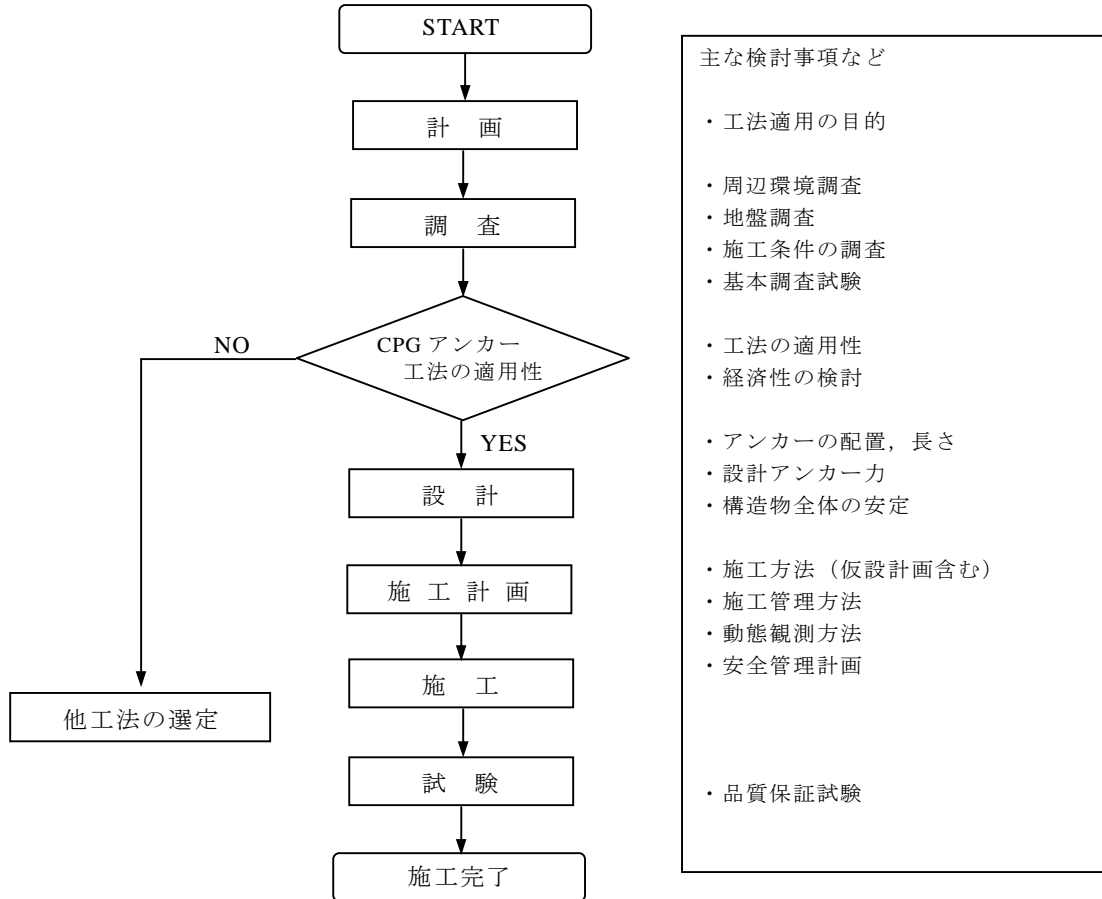


図-1.5 工法の適用フロー

(解説)

CPG アンカー工法は地盤条件によりその適用性が左右されるため、入念な調査に基づき、工法の適用性を判断しなければならない。

1.3 適用地盤

CPG アンカーの適用可能な地盤は、加圧注入で土中の袋材を拡大できる地盤とする。

(解説)

CPG アンカーの適用可能な地盤の目安を表-1.1 に示す。

表-1.1 適用地盤の目安

地盤	N値
砂質土	5 ～ 15
粘性土	2 ～ 5

コンパクショングラウチング (CPG) 工法は砂質地盤の液状化防止対策として砂質土に対する実績は十分あり、CPG アンカー工法としても砂質土に対しては表-1.1 の適用地盤を目安として確実なアンカー工法として適用できる。

一方、粘性土地盤への適用は、実績が十分とは言えないため、粘性土と砂の互層構造で、アンカー長の制約上、止むを得ないような場合を除き、適用は避ける。表-1.1 に示す粘性土地盤を目安は、注入材を所定の大きさに加圧注入できる地盤として示しているが、適用に当たっては変形特性などに対する事前の基本調査試験の実施を含め慎重な対応が必要である。

第2章 材料

2.1 注入材料

CPG アンカーの注入材料は、骨材、セメントおよび水で構成されている。所定のスランプ値および強度を満足するように、骨材の粒度分布および水分量を適切に設定する。

(解説)

CPG アンカーが設計どおりの耐力を発揮するためには、注入材が浸透や脈状に注入されることなく注入点付近で地盤を押し広げて充填固結する必要がある。このため、低流動性のモルタルを注入材として使用している。

低流動性のモルタルは、その低流動性に起因する注入ホースや注入ロッド内の圧力損失、注入材からの脱水による管内閉塞といった施工性の問題を有している。CPG アンカーでは、適切な量の礫分と細粒分を専用に配合した骨材（CPG アンカー骨材と呼ぶ）を使用することによりこれらの問題を解決している。

注入材の水分量はスランプ試験により管理され、3～7cm を管理値とする。

CPG アンカーにおける標準的な注入材の配合を表-2.1 に、注入材の品質管理値を表-2.2 に、粒度分布図を図-2.1 に示す。

表-2.1 注入材の標準配合（1m³あたり）

材 料	配合量	備 考
CPG アンカー骨材	1,520kg	絶乾状態
早強セメント	380kg	
水	320kg	スランプ値により調整

表-2.2 注入材の品質管理値

管理項目	管理値
スランプ値	3～7cm
圧縮強度	$\sigma = 18 \text{ N/mm}^2$ 以上

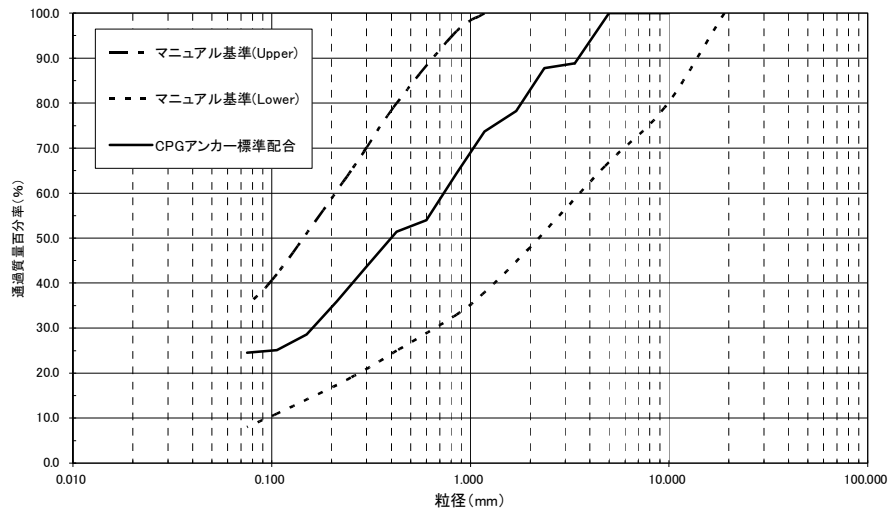


図-2.1 CPG 骨材の最適粒度分布範囲および標準配合

2.2 耐荷体

耐荷体は、PC 鋼より線の引張り力をグラウト体へ伝達できるものとする。CPG アンカーに用いる耐荷体は、袋材、支圧拘束材、および袋材に充填される注入材により構成される。

(解説)

耐荷体とは、PC 鋼より線の引張り力をグラウト体へ伝達する機能を有するアンカー体の一部をいう。CPG アンカーでは、大きな引張り力に対応するため削孔径以上に拡大する袋材を有した耐荷体を使用する。

PC 鋼より線の引張り力は、支圧拘束材に伝達される。支圧拘束材には、少なくとも 1 枚以上の支圧プレートが配置されており、支圧拘束材の荷重は、支圧力によって注入材が充填された袋材に伝達される。このようにして PC 鋼より線から伝達された袋材の荷重は、大きな受圧面積により効率的にグラウト体へ伝達することができる。袋材、支圧拘束材および袋材に充填された注入材を総じて耐荷体と呼ぶ。

耐荷体の模式図を図-2.2 に示す。

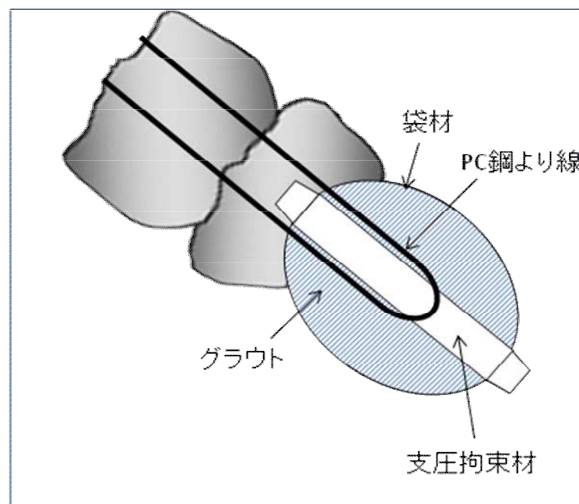


図-2.2 耐荷体拡大図

2.2.1 支圧拘束材

支圧拘束材はつぎの機能を有するものとする。

- (1) 注入材の注入機能
- (2) 支圧定着力機能
- (3) 袋材取付機能
- (4) 引張り材取付機能

(解説)

(1) 注入材の注入機能

支圧拘束材の周囲は削孔径以上のグラウト体を形成して、地盤中において支圧抵抗力を発現させなければならない。そのため支圧拘束材の先端は、注入材の吐出口を有する。また、アンカー頭部側には、圧入管との接続チャックを有する。

(2) 支圧定着力機能

支圧拘束材とグラウト体は十分な付着力が必要であり、支圧拘束材は支圧プレートに有する。

(3) 袋材取付け機能

注入されるグラウト体は支圧拘束材の周囲に均質・均等に形成されることが重要であり、支圧拘束材は地盤中において削孔径以上に膨張する袋材を取り付けられる構造とする。

(4) 引張り材取付け機能

支圧拘束材に作用する荷重は先端から導入されることが望まれ、拘束具の先端部は引張り材を取り付けられる構造とする。

標準的な支圧拘束材を図-2.3、図-2.4 に示す。

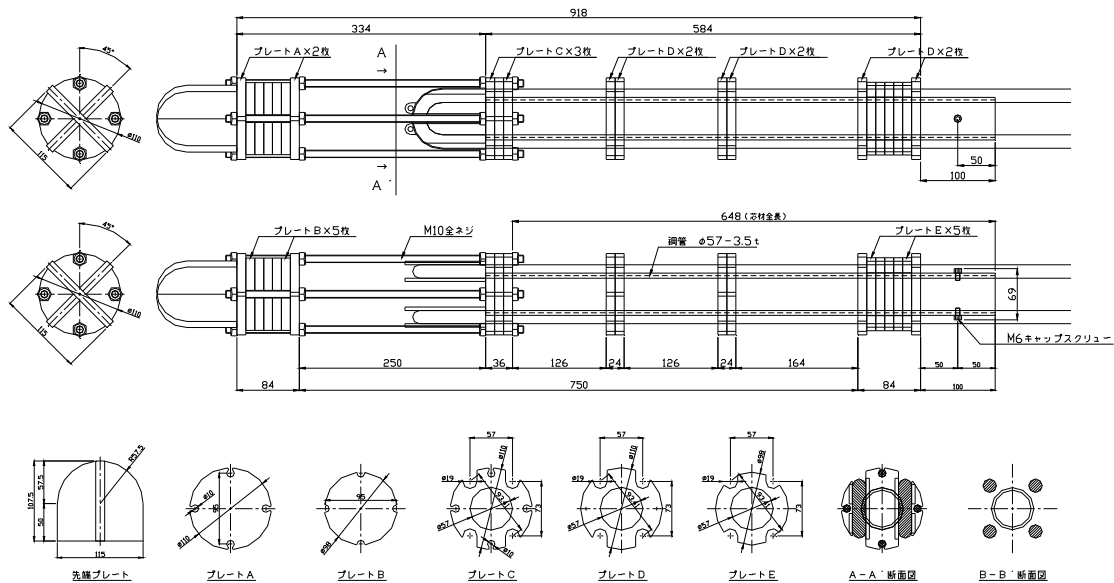


図-2.3 支圧拘束材構造図

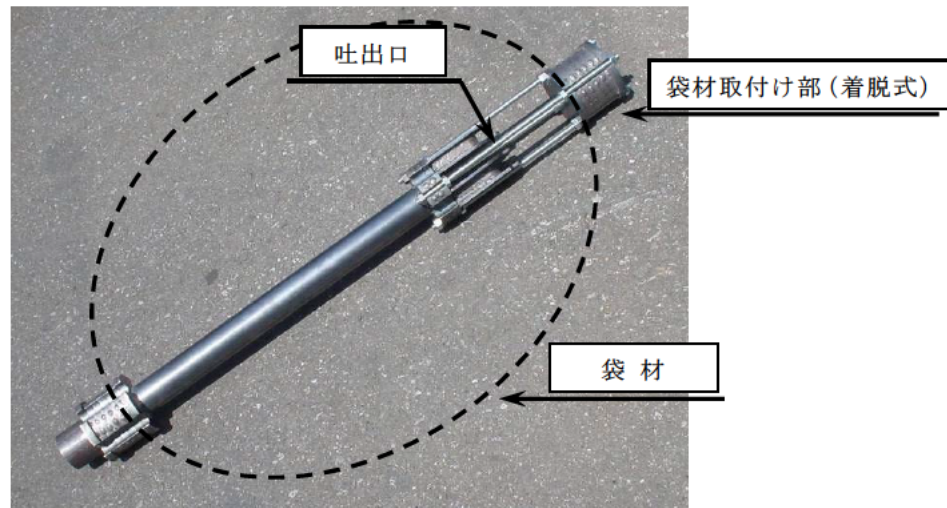
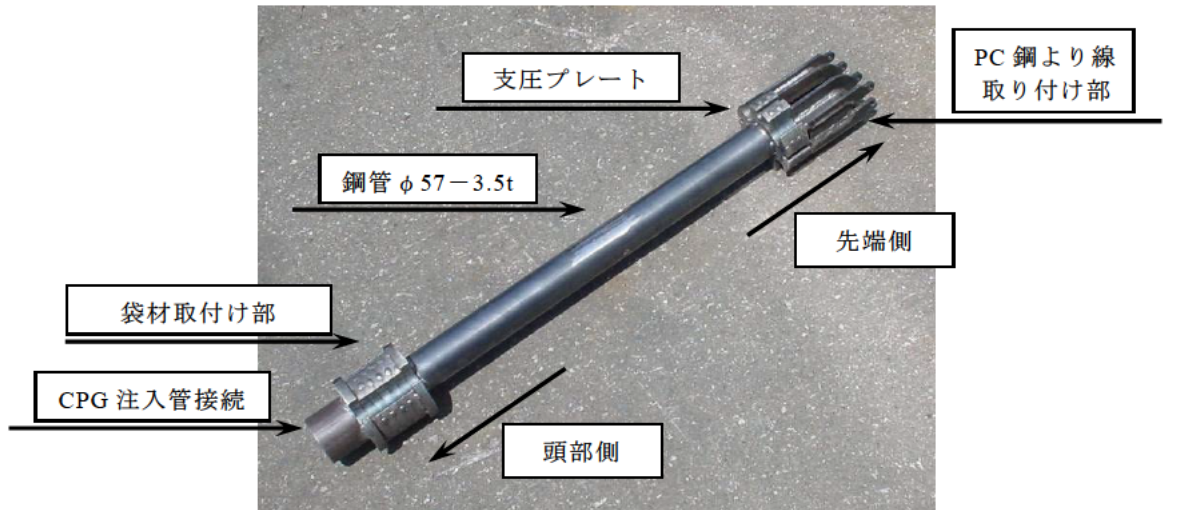


図-2.4 標準的な支圧拘束材

2.2.2 袋材

耐荷体に用いる袋材は、拡大時に $\phi 500\text{mm}$ 以上の拡大径を有し、所定の圧入圧力で破断しないものとする。

(解説)

袋材には、CPG の圧入圧力によって破断せずに、拡大することができる耐圧性能が要求される。また、広い受圧面積をもつことが、効率的にグラウト体へ荷重を伝達するうえで重要であるため、ここでは $\phi 500\text{mm}$ 以上の拡大径を有するものとする。袋材は表-2.3 に示す仕様のもを標準とする。

表-2.3 袋材の材料特性

名称	規格
材質	ポリエステル
耐圧強度	1.5MPa 以上
引張強度	800kgf/(3cm) 以上
厚さ	1.24mm
定格容量	150L
拡大後の定格寸法	$\phi 500\text{mm} \times L750\text{mm}$ (楕円球体)

標準的な袋材は、楕円形状に切断した 6 枚の生地を縫合して制作する。袋材拡大時の形状図-2.5 に示すように、最大径 $\phi 500\text{mm}$ の楕円球体となるように設計されている。これは、球体構造とすることにより、局所的に過度の引張り力が作用することを防ぐため目的である。

積分して計算される楕円球体の体積は約 100L である。しかし、実際には生地 of 伸張により計算値以上の材料が注入されることがこれまでの実験からわかっている。これまでの袋材拡大試験の実績から袋材の定格容量は 150L とする。また、袋材の拡大後の耐圧強度を 1.5Mpa 以上とする。

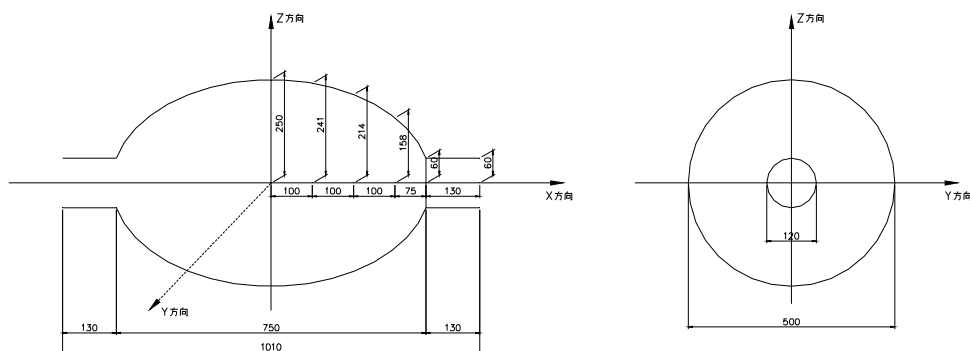


図-2.5 袋材形状図 (拡大時)

2.3 引張り材

引張り材は耐荷体に期待される荷重を伝達できるもので、JIS G 3536 に適合する PC 鋼より線を用いることとする。

(解説)

引張り材は表-2.4 に示されている PC 鋼より線を用いることを標準とする。PC 鋼より線はアンボンドとする。

表-2.4 CPG アンカーに用いる PC 鋼より線

種類	記号	呼び名	標準径 (mm)	公称 断面積 (mm ²)	単位質量 (kg/km)	0.2%永久伸 びに対する 荷重 (kN)	引張荷重 (kN)	伸び (%)
PC 鋼より 線 7 本より 線 B 種	SWPR	7 本より 12.7mm	12.7	98.71	774	156 以上	183 以上	3.5 以上
	7B	7 本より 15.2mm	15.2	138.7	1101	222 以上	261 以上	3.5 以上

2.4 定着具

定着具は、テンドンを構成する引張り材の規格引張り荷重あるいは保証耐力などに達する前に破壊したり、著しい変形を生じることのないような構造を有するものとする。

(解説)

CPG アンカーにおいては、くさびタイプの定着具を用いる。

PC 鋼より線の仕様に合わせ、 $\phi 12.7\text{mm}$ 用と $\phi 15.2\text{mm}$ 用を選択する。

アンカーの併用期間が長期にわたる場合は、頭部の防錆処理を施すこととする。

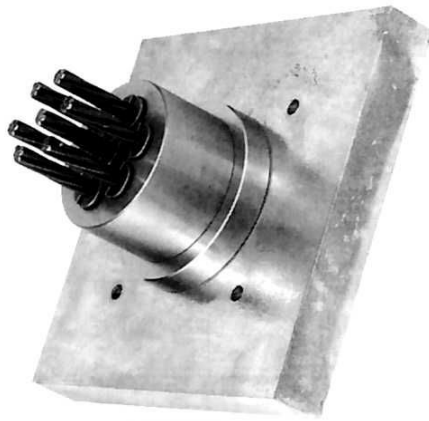


図-2.6 頭部定着部 (参考)

第3章 調査

3.1 一般

CPG アンカーの実施にあたっては、CPG アンカーの特性を踏まえたうえで、計画および調査を行う。

(解説)

CPG アンカー工法は、アンカー体を CPG モルタルの圧入により造成する、土砂地盤を対象としたグラウンドアンカー工法であり、以下に示すような特性を有している。

- (1) 標準的な対象地盤は、N 値 5～15 の砂質地盤および N 値 2～5 の粘性土地盤であり、この場合、期待する設計アンカー力は 1 本当り 400kN 程度である。
- (2) テンドンとは地中で造成する耐荷体を有しており、アンカー体を CPG モルタルの加圧注入により造成するため、地盤性状や施工方法の違いによって性能に大きな差異を生じる可能性がある。
- (3) アンカーはその緊張力によって地盤の変位を防止し、安定を図ることができる工法であるが、緊張力を導入した時点で緊張前に比較して構造物や地山に大きな変形が生じることがある。

以上より、実施にあたっては、適用範囲、対象とする地盤の性状、施工方法、変形による構造物や地中埋設物への影響などを十分に検討した上で、計画および調査を行う。

3.2 計画

CPG アンカーの計画では、その適用性について十分な検討を行う。

(解説)

CPG アンカーを計画する場合、工法の適用性について、以下に示す項目について十分な検討を行う。

- (1) アンカー体設置地盤の位置、性状
- (2) アンカーに期待する引張り力の大きさ
- (3) アンカーの緊張によって生ずる、アンカーされる構造物、周辺地盤、近接構造物などの変位と安定
- (4) アンカーの目的と供用期間に応じた、テンドンの構造
- (5) 一般的なアンカー工法を採用した場合との施工性、経済性比較

適用性の検討の結果、CPG アンカー採用の可否、使用範囲、テンドンの構造などを考察する。

3.3 調査

CPG アンカーの計画に先立ち、近接する構造物・埋設物、周辺環境、施工条件などの一般調査を行う。また、アンカーおよびアンカーされる構造物によって影響を受ける範囲について、地盤の特性、地下水の状況などについて地盤調査を行う。

(解説)

主な一般調査の内容を以下に示す。

- (1) 隣接構造物の状況とそれに対する影響度調査
- (2) 地下埋設物（水道・ガス・電線などの位置および影響）
- (3) 周辺環境調査（削孔や車両運行による騒音・振動の影響、腐食環境など）
- (4) 施工条件の調査（資機材の搬入搬出条件、用排水、電力などの調達条件、他工事との工程調整）

また、主な地盤調査の目的および内容は、以下に示すとおりである。

- (1) 設計アンカー力を求める調査（調査ボーリング、土質試験など）
- (2) アンカー体の設置位置を求める調査（調査ボーリング、土質試験など）
- (3) アンカーの極限引抜き力を求める調査（土質試験、引抜き試験）
- (4) 施工性に関する調査（調査ボーリング、地下水調査など）

第4章 設計

4.1 総則

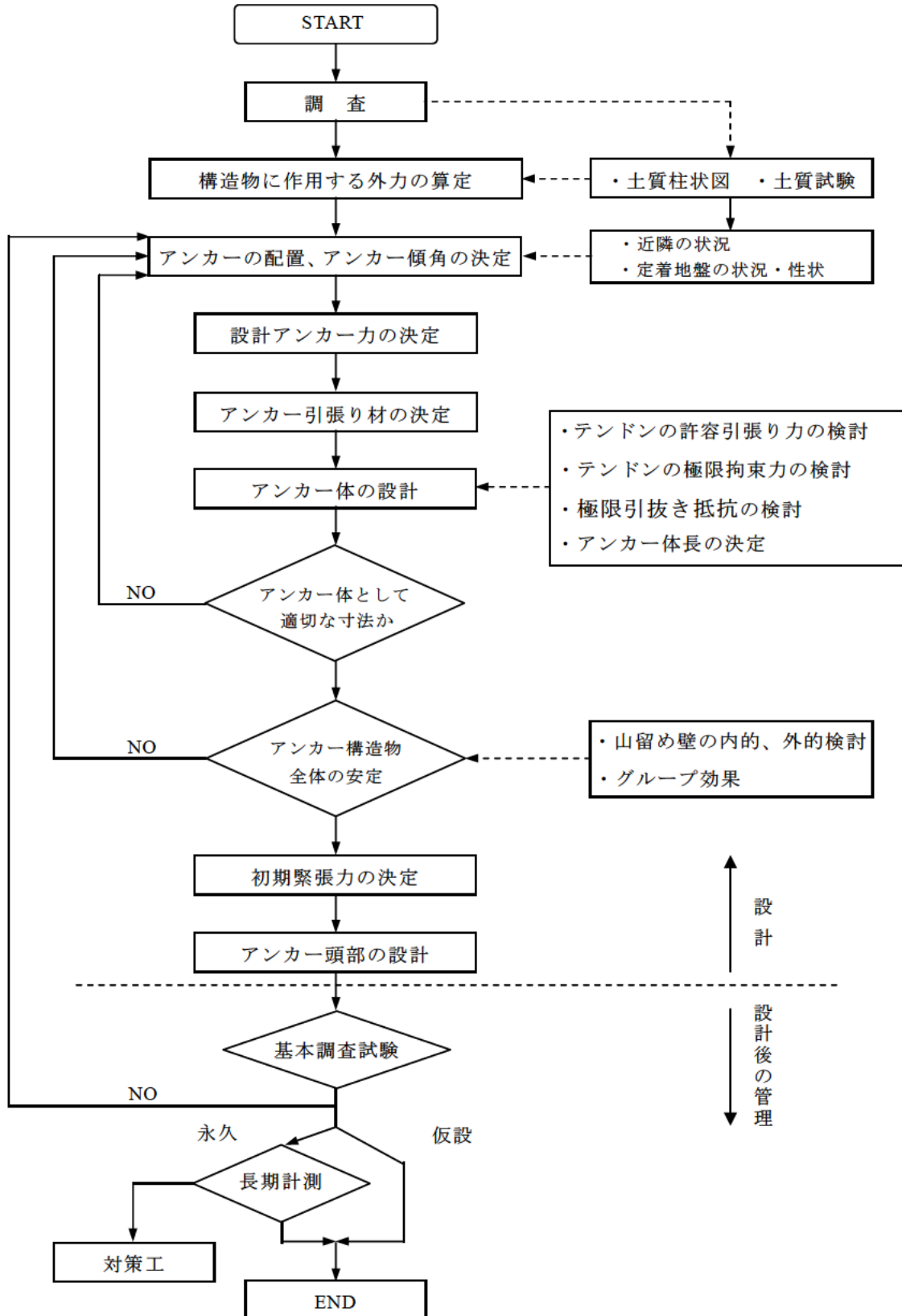
アンカーの設計は構造物に加わる外力に対し、アンカーした構造物が安全な耐力を有し、かつ、有害な変位を生ずることがないように行わなければならない。また、設計したアンカーの妥当性を確認するためには、現場試験による施工管理を行わなければならない。

(解説)

アンカー工法の用途は山留めをはじめとして、擁壁の転倒防止、地すべり抑止、矢板式岸壁の控え工などさまざまである。これらの設計方法は各々異なっているが、ここではアンカー設計する上での基本的な考え方、および共通する設計計算法について述べる。

4.2 設計一般

アンカーの設計手順は、次のフローに準じて行う。



4.3 基本設計条件

CPG アンカーは原則として次の基本設計条件の下で設計する。

(1) 削孔径

削孔径は、原則として $\phi 165\text{mm}$ とする。

(2) アンカー体径

アンカー体径は、原則として $\phi 700\text{mm}$ とする。

(3) テンドンの構成

テンドンの構成は、以下の組み合わせのいずれかとする。

- a) $\phi 12.7\text{mm} \times 4$ 本
- b) $\phi 15.2\text{mm} \times 4$ 本

(解説)

(1) 削孔径

耐荷体を確実にケーシング内に挿入するためには、ケーシング内径が $\phi 130\text{mm}$ 以上である必要がある。そこで、削孔に用いるケーシングの外径は $\phi 165\text{mm}$ のものをを使用することを標準とする。

(2) アンカー体径

コンパクショングラウチングによって造成されるアンカー体径は、圧入量と圧入管のリフト長により決定される。これまで地盤改良工法として多くの実績をもつコンパクショングラウチング工法の標準改良体径は $\phi 700\text{mm}$ である。そこで、CPG アンカーにおいても同様に、造成されるグラウト体径は $\phi 700\text{mm}$ を標準とする。

(3) テンドンの構成

第2章に記載したように、CPG アンカーに用いる引張り材の拘束具は、PC 鋼より線2本を平行にターンさせて設置することで、合計4本の引張り力を得る構造である。また、設置できるPC 鋼より線の径は最大で $\phi 18\text{mm}$ である。そこで、テンドンの構成は、 $\phi 12.7\text{mm} \times 4$ 本もしくは、 $\phi 15.2\text{mm} \times 4$ 本のいずれかを採用することを標準とする。

4.4 荷 重

構造物に作用する荷重の種類は、次の通りである。

- (5) 土圧
- (6) 水圧
- (7) 揚圧力
- (8) 上載荷重
- (9) 地震荷重
- (10) その他

(解説)

アンカーの設計を行うとき、アンカーする構造物に作用する荷重として考えなければならない荷重を列挙したものであって、構造物の性格、環境条件などにより適宜選定することができ、上記すべてを考える必要はない。

4.5 アンカーの配置

(1) アンカー傾角

アンカー傾角は、水平面より -5° ～ $+5^{\circ}$ の範囲内を避ける。

(2) アンカー体の設置間隔

アンカー体の設置間隔は、 $2.5D$ 以上または、 1.5m 以上とする。

(3) アンカー体の土被り

アンカー体の土被り厚は、 5m 以上を標準とする。

(4) アンカー体設置地盤の必要厚

アンカー体の設置地盤の厚さは $2.0D$ 以上とする。

(解説)

(1) アンカー傾角

通常アンカー工法では、ブリーディングおよび残留スライムによる影響を避けるためのアンカー傾角として、水平面より -5° ～ $+5^{\circ}$ の範囲内を避ける。本工法においても同様に、水平面より -5° ～ $+5^{\circ}$ の範囲内を避ける事を原則とする。

(2) アンカー体の設置間隔

アンカー体の設置間隔は、設計アンカー力、アンカー体径、アンカー体長などアンカー諸元によって決定される。通常のグラウンドアンカーでは、アンカーの設置間隔が小さい場合、グループ効果により極限引抜き力が減少することが指摘されている。そのため、通常はグループ効果を考慮しなくてもよい設置間隔として、アンカー体径の4倍以上または、 1.5m 以上確保することが必要とされている。

一方、本工法はアンカー体造成時に、静的圧入によって周辺地盤を締固めることにより、グループの効果の影響は小さいと考えられる。そこで、安全性、施工性を考慮して、アンカー体の設置間隔は、アンカー体径の2.5倍以上または、 1.5m 以上とする。

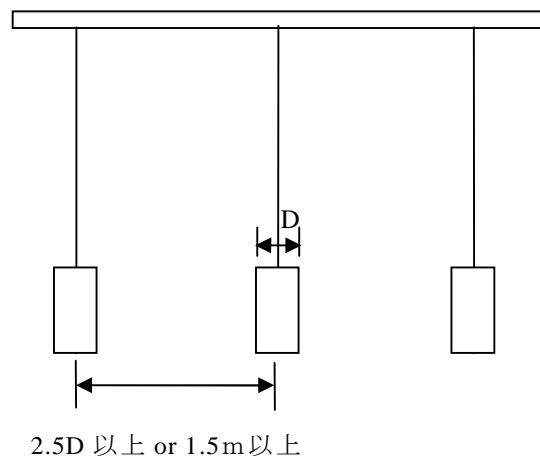


図-4.1 アンカー体の設置間隔

(3) アンカー体の土被り

アンカー体の土被りが小さいと、本工法のような支圧効果を併用する場合、地表面方向に向かう受働破壊が発生する恐れがある。そのため、アンカー体の土被りは原則として 5m 以上とする。

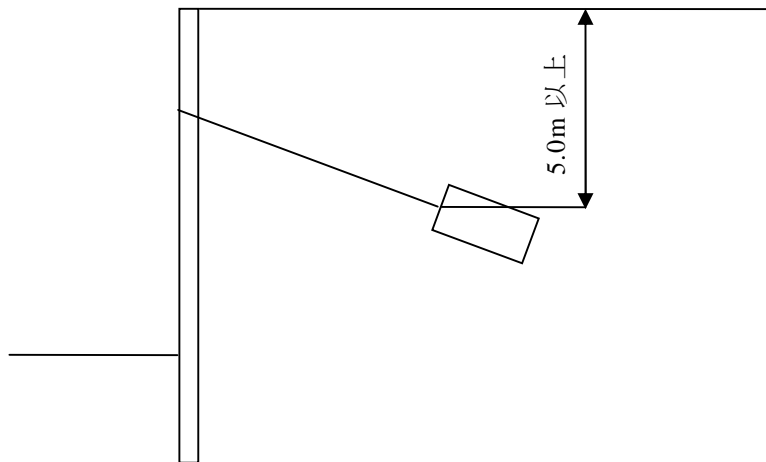


図-4.2 アンカー体の最小土被り厚

(4) アンカー体設置地盤の必要厚

支圧力を期待する CPG アンカーは、十分な支圧抵抗力を発揮するために、地盤の抵抗領域を確保することが必要である。そこで、本工法における設置地盤への必要厚を 2.0D 以上確保することとする。

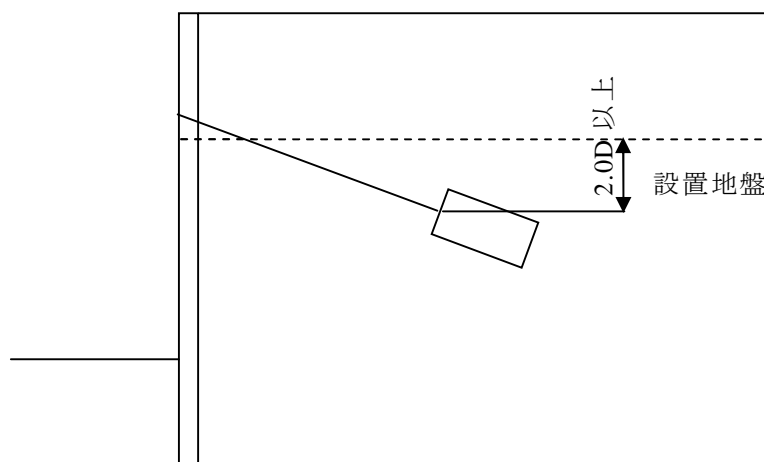


図-4.3 設置地盤の被り

4.6 アンカーの長さ

(1) アンカー自由長

アンカー自由長は、原則として、4m 以上とする。

(2) アンカー体長

アンカー体長は、原則として、2.5m 以上とする。

(解説)

(1) アンカー自由長

アンカー自由長は、アンカーされる構造物とアンカー体設置地盤の間の地盤が破壊したり、変形が大きくなるように 4m 以上を標準とする。

また、山留め、擁壁などのように土圧を受ける構造物では、少なくとも主働すべり線以深に定着部がくるように自由長を決定しなければならない。このとき、支圧抵抗力を十分に発揮するためには、想定すべり面より 2.5D 以上奥に設置するものとする。

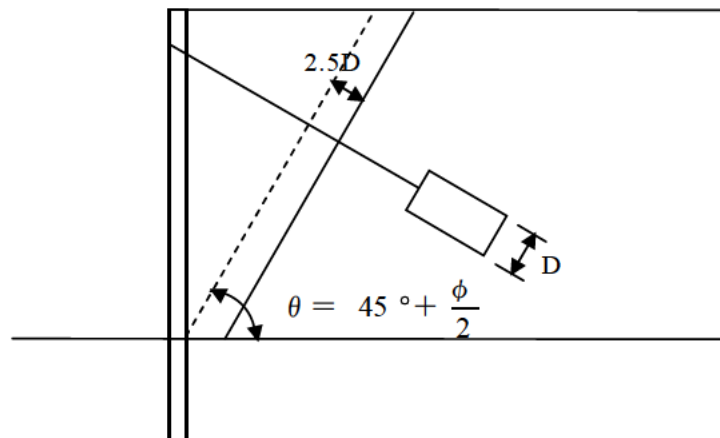


図-4.4 アンカー体設置位置

(2) アンカー体長

ここでいうアンカー体長とは、耐荷体と CPG によって造成されるグラウト体の和である。耐荷体は、引張り材に作用する荷重をグラウト体に伝達するための機能を有し、グラウト体は地盤との付着および支圧によって引抜抵抗力を発揮する。

アンカー体の引抜強度は現地地盤の状況や施工方法によって大きく左右されることもある。そこで、引抜強度を発揮するアンカー体長の最低長として 2.5m 以上確保することとする。

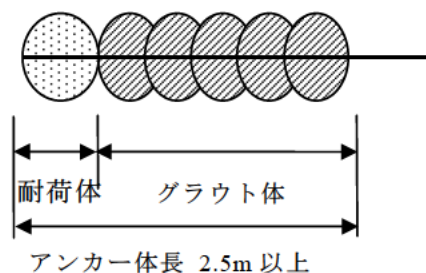


図-4.5 アンカー体長

4.7 設計アンカー力 (T_d)

設計アンカー力は、4.4 で求めた荷重に基づいて、計画されたアンカーの配置や打設角度を考慮して、算出される。

(解説)

設計アンカー力は、4.4 に示した種々の荷重に対して、アンカー打設の対象となる構造物や地盤が安定するように決められる。

4.8 許容アンカー力 (T_a)

(1)設計アンカー力 (T_d) は、許容アンカー力 (T_a) を超えないものとする。

(2)許容アンカー力 (T_a) は、テンドンの許容引張り力 (T_{as})、テンドンの許容拘束力 (T_{ab})、アンカーの許容引抜き力 (T_{ag}) について検討を行い、最も小さい値を採用する。

(解説)

(1) テンドンの許容引張り力 (T_{as})

テンドンの許容引張り力 (T_{as}) は、テンドンの極限引張り力 (T_{us}) およびテンドンの降伏引張り力 (T_{ys}) に対して、安全率を考慮していずれか小さい値とする。

テンドンの極限引張り力 (T_{us}) およびテンドンの降伏引張り力 (T_{ys}) に対する安全率 (f_s) は、表-4.1 の低減率を、更に 4.9 に示すように 85% に低減させた値とする。

表-4.1 テンドンの極限・降伏引張り力に対する低減率

		テンドン極限引張り力 (T_{us}) に対して	テンドン降伏引張り力 (T_{ys}) に対して
仮設アンカー		0.65	0.80
永久アンカー	(常時)	0.60	0.75
	(地震時)	0.80	0.90

※「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 (地盤工学会)」より引用

(2) テンドンの許容拘束力 (T_{ab})

テンドンの許容拘束力 (T_{ab}) は、テンドンの極限拘束力 (T_{ub}) に対して、安全率を考慮して決定する。

テンドンの極限拘束力 (T_{ub}) に対する安全率 (f_s) は、表-4.2 の値を用いる。

表-4.2 テンドンの極限拘束力 (T_{ub}) に対する安全率 (f_s)

	安全率 f_s
仮設アンカー	1.5
永久アンカー	2.0

(3) アンカーの許容引抜き力 (T_{ag})

アンカーの許容引抜き力 (T_{ag}) は、アンカーの極限引抜き力 (T_{ug}) に対して、安全率を考慮して決定する。

アンカーの極限引抜き力 (T_{ug}) に対する安全率 (f_s) は、表-4.3 によるものとする。

表-4.3 極限引抜き力 (T_{ug}) に対する安全率 (f_s)

		安全率 f_s
仮設アンカー		1.5
永久アンカー	(常時)	2.5
	(地震時)	1.5~2.0

※ 「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 (地盤工学会)」より引用

4.9 テンドンの許容引張り力

テンドンの許容引張り力 (T_{as}) は、設計アンカー力 (T_d) 以上の値でなければならない。

(解説)

本工法で一般的に用いる仮設アンカーのテンドンは、先端部をターン加工させた構造であるため、表-4.1 の許容引張り力を 85% に低減させる。

PC 鋼より線の 1 本当りの許容引張り力 (T_{as}) を表-4.4 に示す。

表-4.4 仮設アンカーのテンドンの許容引張り力 (T_{as})

種類	記号	呼び名	$0.65\alpha T_{us}$ (kN)	$0.80\alpha T_{ys}$ (kN)	許容引張り力 T_{as} (kN)
PC より線 7 本 より線 B 種	SWPR7B	7 本より 12.7mm	101.1	106.1	101.1
		7 本より 15.2mm	144.2	151.0	144.2

※ ただし、 $\alpha = 0.85$

4.10 テンドンの極限拘束力 (T_{ub})

テンドンの極限拘束力 (T_{ub}) は、基本調査試験において確認することを標準とする。

(解説)

テンドンの極限拘束力 (T_{ub}) は、本工法においては耐荷体の破壊によるものである。

耐荷体の破壊とは、耐荷体の支圧拘束材に配置された支圧プレートから袋材に充填された注入材に荷重が伝達される際に、注入材と支圧プレートの間で支圧破壊を起こす現象である。

テンドンの許容拘束力 (T_{ab}) は、表-4.2 に示す安全率を用いて次の式で算出される。

$$\text{テンドンの許容拘束力} : T_{ab} = T_{ub} / f_s \quad (4.10.1)$$

本来であれば、テンドンの許容拘束力 (T_{ab}) \equiv テンドンの許容引張り力 (T_{as}) となるのが望ましいが、現時点ではテンドンの極限拘束力 (T_{ub}) は耐荷体破壊試験の結果である 680kN を用いるものとする。ただし、基本調査試験により 680kN 以上の値が確認された場合は、その値をテンドンの極限拘束力 (T_{ub}) としてよいものとする。

4.11 極限引抜き抵抗 (T_{ug})

CPG アンカーの極限引抜き抵抗は、基本調査試験において確認することを標準とする。

(解説)

アンカーの極限引抜き力は、主として地盤の条件によって、アンカーに終局的な破壊が生ずる場合に必要な力をいう。極限引抜き力は基本調査試験により確認することを標準とする。CPG アンカーの極限引抜き力は次の式で評価される。

$$\text{極限引抜き力} : T_{ug} = \pi d_a l_a \tau + q \cdot A \quad (4.11.1)$$

ここで、 d_a は定着部のアンカー体径、 l_a はアンカー定着長、 τ は極限周面摩擦抵抗、 q はアンカー拡大部での単位面積当たりの支圧抵抗、 A はアンカー拡大部での有効な支圧面積である。式(4.11.1)に示すように、引抜き抵抗としては、周面摩擦抵抗と支圧抵抗の和となるが、CPG アンカーでは支圧面の形状が不確定であるために評価が難しく、設計においては考慮しないものとする。

概略設計や基本調査試験を計画する場合の目安として、極限周面摩擦抵抗 (τ) は表-4.5 の値を使用してもよい。

表-4.5 極限周面摩擦抵抗 (τ)

地盤の種類			摩擦抵抗 (MN/m ²)
砂礫	N 値	5	0.10
		10	0.15
		15	0.20
砂	N 値	5	0.10
		10	0.14
		15	0.18

表-4.5 の極限周面摩擦抵抗の値は、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 (地盤工学会)」に掲載されている値の最大値を採用している。これは、CPG によって造成されるアンカー体は加圧注入により地盤を押し上げて造成されるため、周辺地盤の締固め効果により、地盤との摩擦抵抗力が増加することを考慮しているためである。

アンカー許容引抜き力 (T_{ag}) は、表-4.3 に示す安全率を用いて次式で表される。

$$\text{アンカー許容引抜き力} : T_{ag} = T_{ug} / f_s \quad (4.11.2)$$

4.12 構造物全体の安定

構造物全体の安定は、設定したアンカー自体の安定に加え、構造物、アンカー、地盤を含んだ構造系全体の安定について検討する。

(解説)

構造物をアンカーにより安定させる場合、極限アンカー力に関する安全性だけでなく、構造物、アンカー、地盤を含む全体系の安定を検討する。検討は、外的安定と内的安定について行う。

外的安定は、アンカー体を含む地盤全体の崩壊に対する安定であり、円弧や複合すべりを仮定した分割法が一般に用いられる。土留めにおける構造物全体の安定では、図-4.8 に示すようなアンカー先端近傍ならびに床付け面以深を通るすべり面を仮定した分割法などが用いられる。

内的安定は、想定されるすべり線の外側にアンカー体を設置した場合に、地盤がアンカー体とともに過大な変位を生じないための検討である。

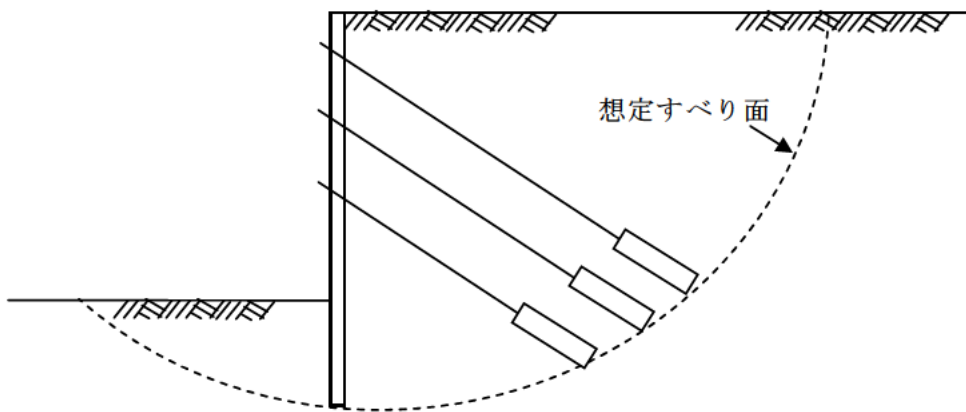


図-4.6 外的安定

第5章 施工

5.1 一般

アンカーは、施工の良否がアンカー耐力を左右するため、事前に施工条件、施工方法などを十分検討した上で、慎重な施工を行う。

施工時に当初計画した諸条件と異なる事態が生じた場合は、責任技術者に報告し、速やかに対処する必要がある。

(解説)

アンカーの耐力は、同一地盤であっても施工の方法や機械、使用材料、施工技術などによって異なる。施工にあたっては、設計された諸条件を満足させるため、調査資料、試験結果、過去の実績などから最適な施工方法を決定する必要がある。

地盤の状態や土質性状は、施工段階において計画・設計時の条件と異なることがあるため、必要に応じて検討を行い、設計条件の見直しや施工方法の変更を行う。

5.2 施工計画

アンカーの施工に先立ち施工計画書を作成し、諸条件下における施工方法や各施工段階における施工管理方法などを定め、責任技術者の承認を得る。

(解説)

アンカーの施工に先立ち、設計図書による条件を満足させる施工計画書を作成する。施工計画書に記載する主な内容を以下に示す。

1. 工事概要
2. 計画・設計の条件
3. アンカーの仕様
4. 工程
5. 組織編成
6. 使用材料
7. 使用機械・器具
8. 仮設計画
9. 施工方法
10. 施工管理・品質管理計画
11. 安全管理計画
12. 技術資料・カタログなど

これらは一般的なものであるなので、適宜、追加・削除してよい。

仮設計画において、電力設備、水設備、泥水処理設備等を記載する。

5.3 施工手順

標準的な CPG アンカーの施工手順を図-5.1 に、標準施工フローを図-5.2 に示す。

- ① 設計長まで削孔（削孔径 $\phi 165$ ）
- ② 耐荷体に CPG 注入管を装着しながらアンカー材を挿入
- ③ 所定の位置までケーシングを引き上げる
- ④ 耐荷体内（袋材内）に加圧注入することで所定の形状の（太径の）耐荷体を造成
- ⑤ CPG 注入管をステップ毎に引き上げながら注入材を加圧注入しグラウト体を造成
- ⑥ 所定の緊張力を得るために、緊張を行う

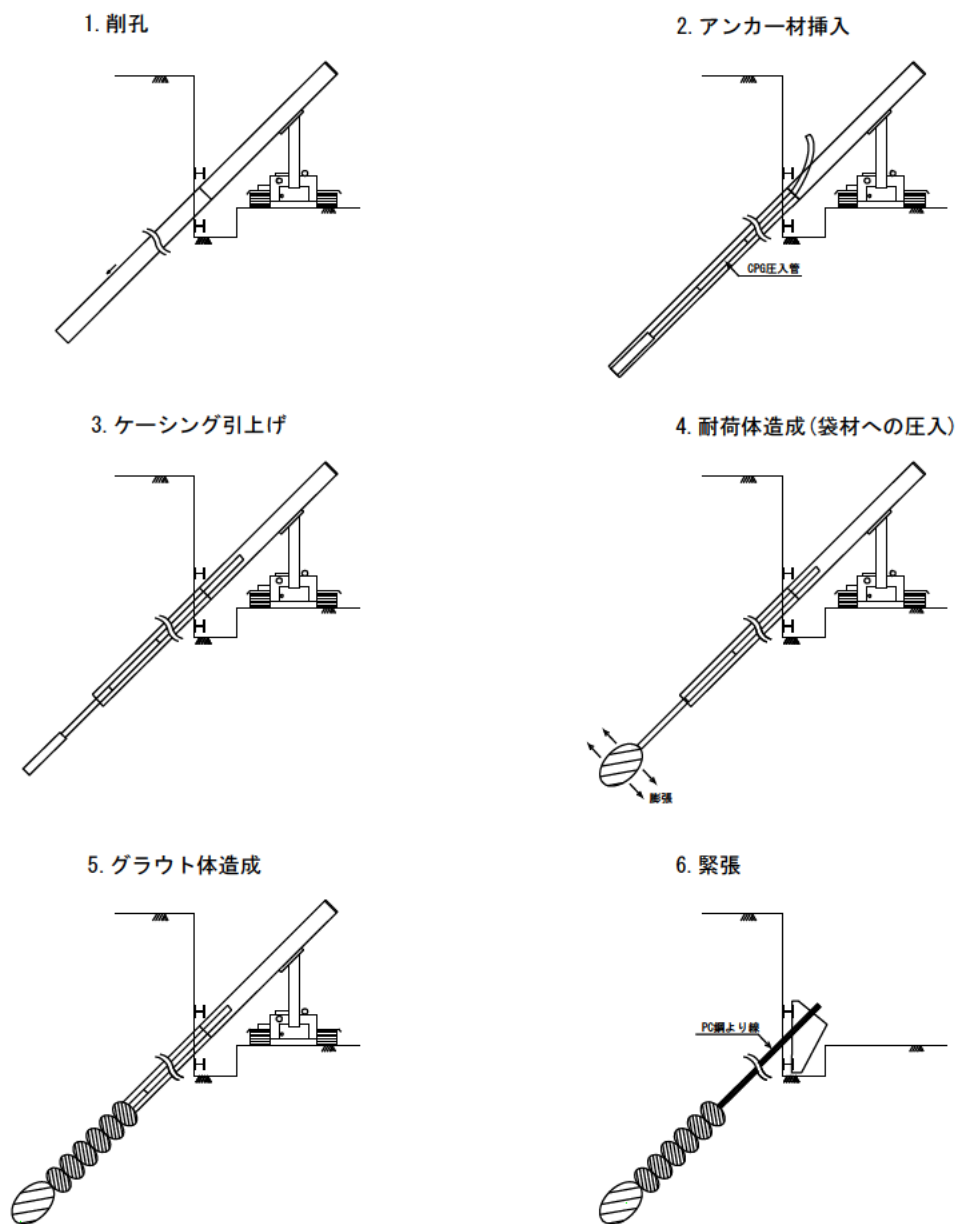


図-5.1 CPG アンカー工法施工手順

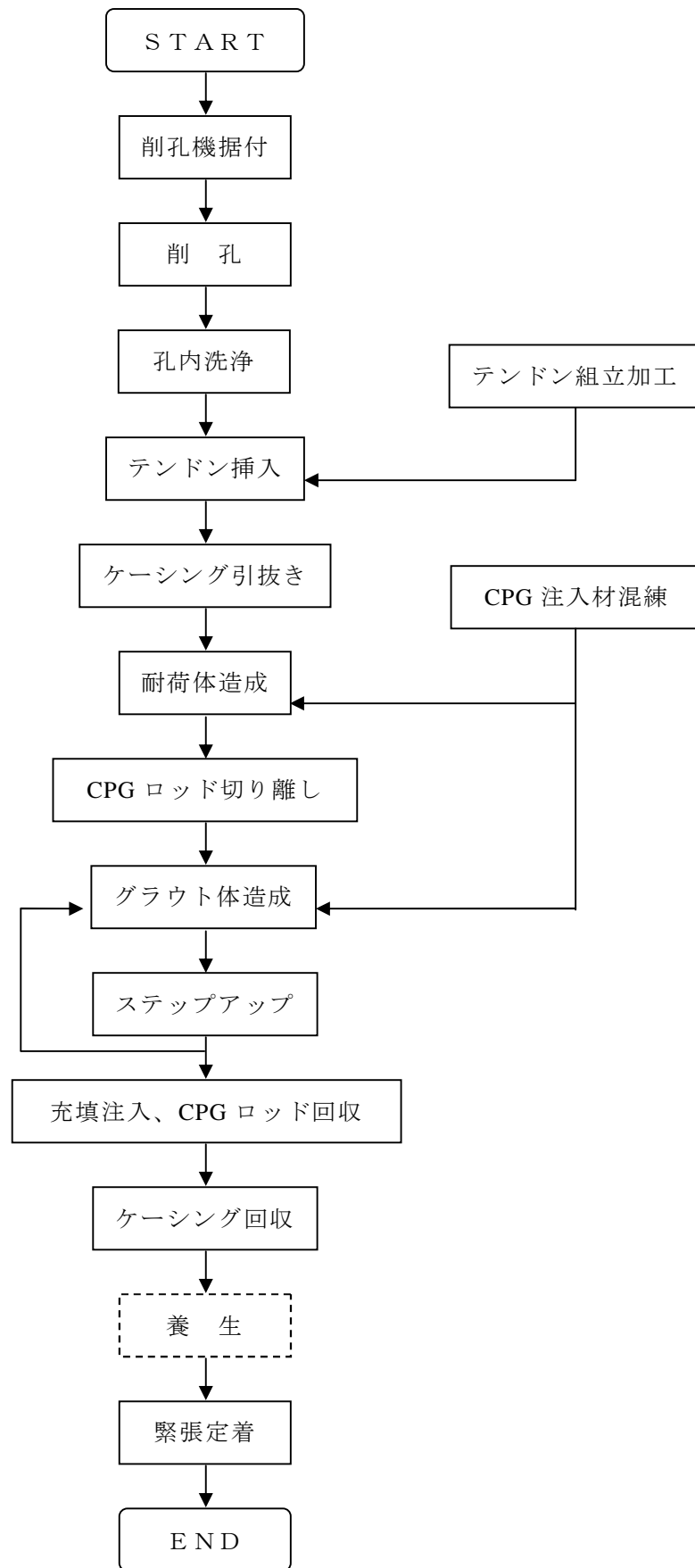


図-5.2 CPG アンカーの施工手順

5.4 施工機械

CPG アンカーの施工は、施工条件などを十分検討した上で適切な施工機械を用いて行う。

(解説)

削孔機械、送水ポンプ、モルタルミキサー、グラウトポンプなど、CPG アンカーの施工に用いる標準的な機械を表-5.1 に示す。

削孔機械は、地質・地盤条件、設計条件、地形や周辺状況などを考慮して選定する必要がある。

表-5.1 CPG アンカーの標準的な施工機械 (例)

機 械 名 称	仕 様 ・ 規 格	摘 要
ロータリーパーカッション式削孔機	クローラー型：100～140 ps スキッド型：55～80kW	
送水ポンプ	150～250 L/min	削孔用
CPG ポンプ	37 kW 8MPa, 1.8 m ³ /h	
モルタルミキサー	2.2 kW, 250L 練り	
コンプレッサー	100 ps, 10.6～17.0 m ³ /min	必要に応じ使用
緊張ジャッキ	1.5 kW, 70MPa	

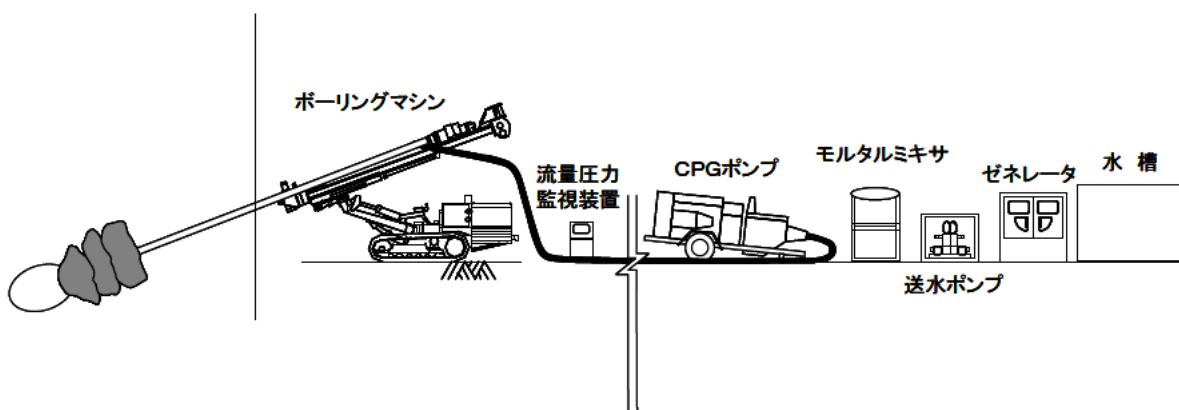


図-5.3 CPG アンカー施工における一般的な機械配置

5.5 施工管理

CPG アンカーの施工において、設計図書を満足するアンカーを施工するため、施工計画書に基づき適切な施工管理を行う。

(解説)

施工管理項目および管理値は、施工計画書で定め責任技術者の承認を得る。主な施工管理項目と管理方法、および標準的な管理値を表-5.2 に示す。

アンカーの施工において計画時に想定した条件と異なる事態が生じた場合には、その原因を速やかに調査し、必要に応じて適切な対策を講じると共に施工管理方法について再検討を行う。

表-5.2 主な施工管理項目と管理方法

施工手順		管理項目・基準		管理方法		
項目	作業	管理項目	管理基準	方法	時期	頻度
削孔	削孔機据付	削孔機据付方向	設計軸芯から75mm	スケール測定	据付時	全孔
		削孔機据付角度	設計軸芯から±2.5°	直角定規・傾斜計	〃	〃
	削孔	削孔長 (余掘長)	設計長以上(0~50cm)	ドリルパイプ 本数・残尺	削孔終了後 テンドン挿入前	〃
	アンカー体 設置位置	アンカー体設置地盤	設計アンカー体長	削孔データ・スライム等 から判断	削孔時	〃
	孔内洗浄	洗浄水の濃度および スライムの排出量	必要回数	洗浄水・スライム 排出量の目安	〃	〃
テンドン 組立 加工	材料品質	変形・傷・錆・油脂	JIS他	ミルシートによる 確認と目視	納入時	1回
	組立 加工	本数	±0	設計図書確認 検尺時確認	テンドン 組立完了時	全孔
		アンカー長	設計長+0~100mm	設計図書確認 スケール測定	組立加工時	〃
		アンカー自由長	同上	〃	〃	〃
挿入	テンドン 挿入	損傷汚れ	損傷・汚れなし	目視	挿入時	全孔
		緊張余長	設計余長~+100mm	スケール	〃	〃
注入	材料品質	練混材料品質	JIS	ミルシートによる確認	材料搬入時	1回
	練り混ぜ	計量	設計配合に準ずる	計量器	練り混ぜ時	1回/日
		スランブ値	5cm (±2cm)	スランブ試験器	練り混ぜ時	1回/日
	注入	注入量	実績	流量圧力記録装置 (混練バッチ数、廃棄量)	各孔 注入時	全孔
		注入圧力	5.0Mpa以下	流量圧力記録装置	各孔 注入時	全孔
		グラウト強度 (緊張時・設計荷重作用時)	仮設 18N/mm ² 永久 24N/mm ²	圧縮強度試験	各面、段 開始日	1回/面・段
緊張 定着	緊張装置の 検収	機種・規格点検表	機種 規格	目視・キャリブレーション	緊張作業時	必要に 応じて
	緊張	初期緊張力	テンドン降伏荷重 の0.9倍以下	圧力ゲージ	緊張時	全孔
	定着	定着時緊張力	初期緊張力以内	圧力ゲージ	定着時	全孔
	伸び量	緊張管理曲線	許容限界線以内	荷重—変位量曲線	緊張時	全孔

5.6 削孔

- (1) アンカー孔の削孔は、設計図書に示された位置、削孔径、削孔長、方向などの仕様を満足するように行い、造成するアンカー体の周辺地盤を乱さない方法で実施する。
- (2) 削孔完了後の孔内洗浄は、地盤条件や施工条件に応じて清水またはエアなどの適切な方法により行う。

(解説)

削孔は、アンカーの品質や施工の工期・経済性に大きな影響を与える特に重要な作業工程であるため、設計仕様・地盤条件・施工条件・施工規模などを考慮して削孔機械や削孔システムを選定し、アンカーの品質が十分満足できるものとなるように管理を行いながら施工する。

また、削孔中の管理では、単なる施工管理のみに留まらず、周辺環境に対する影響や安全性の確保といった点にも配慮する。

- (1) アンカーの削孔にあたっては、次の点に留意する必要がある。
 - a) 削孔方法は、孔壁崩壊を防止でき、テンドン挿入やグラウト注入などが確実に可能な方法を採用する必要があるため、ケーシング削孔とする。
 - b) CPG アンカーは比較的軟らかい地盤を対象としているため、二重管削孔などの削孔中にできるだけ地山を乱さない方法により削孔を行う。
 - c) 削孔精度は、構造物の重要度や使用目的を考慮して定め、アンカーが他の既設構造物に悪影響を与えないように、また、施工するアンカー同士が相互に干渉しないように、十分な精度を確保する。
 - d) 削孔中に排出されるスライムの状態や削孔速度などにより、アンカー体の設置地盤の位置や層厚を把握し、設置地盤としての妥当性確認の参考とする。
 - e) 水掘り削孔を行う場合には、清水を使用することとし、グラウトの品質に悪影響を及ぼす物質を含まないようにする。

(2) 孔内洗浄

削孔完了後の孔内洗浄は、ケーシング内に残ったスライムの洗浄のために行うものとし、必要以上に地山を乱さない方法で行う。

5.7 テンドン組立加工

- (1) テンドンは、設計仕様に基づきその機能を損なわないように組立加工する。
- (2) 組立加工したテンドンは、傷をつけたり、鋭く曲げたり、油や泥などが付着しないように注意して取り扱う。

(解説)

CPG アンカーにおいて、テンドン組立加工は工場加工を原則とする。組立加工は、専用の組立治具を用いて設計図書に示された仕様で行う。

組立加工時における留意点を以下に示す。

- a) PC 鋼より線の曲げ加工は、専用の組立治具を用いて行い、鋼材やアンボンドチューブを傷つけることがないように注意する。
- b) 袋材を耐荷体に取り付ける際は、かしめ部の締付けを確実に行うとともに、袋材を傷つけないように注意する。
- c) 緊張に必要な余長部は、緊張定着に支障がないよう、グラウトの付着や錆の発生を防ぐよう、防錆油の塗布やシースによる保護を行うなどの措置を講じる。
- d) 組立加工されたテンドンは、原則として直接地表面に置くことを避けると同時に、近くで溶接・加工などの作業を行わないようにする。

5.8 テンドン挿入

テンダンの挿入は、有害な損傷や変形を与えない方法を用いて所定の位置に正確に行い、グラウトが硬化するまでテンダンが動かないように保持する。

(解説)

テンダン挿入時は、作業中にテンダンを傷つけたり、油や泥などが付着することがないように注意する。

CPG アンカーは、テンダンの先端に袋材を備えた耐荷体を有している。また、挿入は CPG ロッドを連結しながらの作業となる。

テンダン挿入時における留意点を以下に示す。

- a) 挿入時に先端の袋材に油や泥が付かないように、また袋材を傷つけないように十分に注意する。
- b) CPG ロッドを連結する際にテンダンを結束する作業を同時に行うが、この時、PC 鋼より線がよれて途中で交差することがないように必要な措置を講じる。
- c) 挿入時に CPG 注入に対する逆流防止装置の取付けを確実にを行う。
- d) テンダン挿入後、CPG 注入に対する PC 鋼より線の引き込まれ防止を目的として、緊張余長部における固定を行う。



図-5.4 逆流防止装置の取付け



図-5.5 PC 鋼より線緊張余長部の固定

5.9 アンカー体造成

- (1) CPG 注入材の練り混ぜは、所定の圧縮強度およびコンシステンシーが得られる配合で行い、練り上がり時のスランプ試験、および供試体による圧縮強度試験により管理する。
- (2) 耐荷体造成は、耐荷体に取り付けた袋材を膨張させてテンドンの拘束力を十分に発揮させるために実施するが、袋材が確実に膨張できるように注入量を設定し、量と圧力により管理する。
- (3) グラウト体造成は、アンカー体を造成するために CPG ロッドより CPG 注入材の加圧注入により行うが、ステップ当たりの注入量を設定し、量と圧力により管理する。

(解説)

(1) CPG 注入材の練り混ぜ

CPG 注入材は所定の受け持ち範囲から逸脱することなく固結体を形成することが求められる。そのために注入材には低流動性のモルタルを使用し、脈状割裂により注入材が逸走するのを防いでいる。また、固結体の強度は所定の圧縮強度およびコンシステンシーが得られる配合で行う。

低流動性の注入材を加圧注入するために、モルタルの骨材には適切な量の礫分と細粒分を配合した専用の骨材（CPG アンカー骨材と呼ぶ）を使用する。水分量はスランプ試験により管理し、注入箇所の注入ホース先端から採取した材料のスランプ値で 3～7cm を管理値とする。

CPG アンカー骨材の粒度組成は、下図に示す最適粒度分布範囲とし、かつ、特定の粒径に分布が集中しておらず、上限および下限のラインにおおむね平行であることを基準とする。このとき、CPG アンカー工法では内径 50mm の注入管を使用しているため、粒径の大きな骨材が存在すると先端が閉塞する恐れがあるので十分に留意する必要がある。

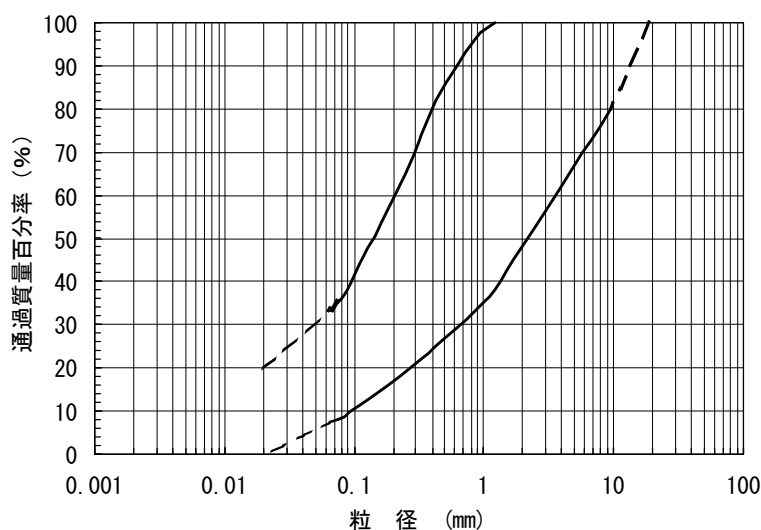


図-5.6 CPG アンカー骨材の最適粒度分布範囲

CPG アンカーの配合は、「2.1 注入材料（表-2.1）」に示す配合を標準とする。また、注入材は、「2.1 注入材料（表-2.2）」に示す品質管理値を満足するものとする。

(2) 耐荷体造成

耐荷体造成は、設定した注入量を注入することを標準とする。ただし、注入中に圧力上昇が確認された場合は、周辺地盤の拘束力が高く所定の大きさに膨張する前に袋材が破れる恐れがあるため、設定した最大圧力に達した時点で注入を終了する。

標準タイプの袋材における計画注入量、および最大圧力は、下表のとおりである。

表-5.3 袋材の計画注入量、最大圧力（標準値）

袋材の寸法	φ 500mm
袋材の耐圧（拡大後）	1.5 MPa
計画注入量	150ℓ
最大圧力	5.0 MPa

耐荷体造成完了後、CPG ロッドを耐荷体より切離し、CPG 注入の第 1 ステップ注入位置まで引き上げる。

(3) グラウト体造成

グラウト体造成は、注入ステップ毎に設定した注入量を注入することを標準とする。注入作業は連続的に行い、途中で中断することがないように心掛ける。

1ステップ目に関しては、所定の注入量に加え、ケーシングの内径ボリューム分である 50ℓを注入する。これは、注入の最初に CPG 材料がケーシング内に充填されることから、その分の注入量を考慮する必要があるからである。

標準仕様におけるステップ毎の計画注入量は、下表のとおりである。

表-5.4 ステップ毎の計画注入量（標準値）

計算上のアンカー体径	φ 700mm
リフト長	0.33m/ステップ
ステップ毎の計画注入量	1 ステップ目：200ℓ
	2 ステップ以降：150ℓ

アンカー体注入完了後、CPG ロッドを回収し、口元の充填注入を行い、完了とする。

5.10 緊張定着

- (1) アンカーの緊張定着は、品質保証試験によって所定の試験荷重や変形特性を確認した後、所要の定着時緊張力が得られるように行う。
- (2) 所定の定着時緊張力を得るために、セット量を考慮して初期緊張力を決定する。

(解説)

緊張定着を行う時期は、グラウト強度が所定の設計基準強度に達した後とする。

緊張定着は、6章の品質保証試験により所定の試験荷重に対する耐力や変形特性を確認した後、所要の定着時緊張力が得られるように行う。設計時に定められた定着時緊張力に対して、導入する初期緊張力は、くさびのセット量を考慮して決定する。初期緊張力は次式により求められる。

$$P_i = P_t + \frac{AE \cdot \Delta l}{l_f} \quad (5.1)$$

ここで、

- P_i : 初期緊張力
- P_t : 定着時緊張力
- A : テンドン断面積
- E : テンドン弾性係数
- Δl : くさびセット量 (2~6mm)
- l_f : テンドン自由長

緊張定着時における留意点を以下に示す。

- a) アンカー定着具およびくさびは、乾燥された状態で保管された清浄なものを用い、錆の発生や泥などの付着したものはこれを取り除き、清浄な状態とした後に使用する。
- b) PC鋼より線にモルタルなどの付着や錆の発生がある場合は、これを取り除き、清浄な状態にする。
- c) 台座および定着具は、テンダンの中心軸と過大な偏心が生じないように設置する。アンカーヘッドとプレートとテンダンの中心軸とのズレは±10mm以下とし、設置角度が5°以上ずれないように設置する。
- d) 緊張ジャッキは、十分な容量を持ち、メーカーによりキャリブレーションを行ったものを使用する。
- e) 試験中および緊張定着作業中は、緊張方向に立ち入らないように立ち入り禁止措置を施す。

第6章 試験

6.1 一般

設計に必要な極限アンカー力を調査するための基本調査試験、実際に使用するアンカーの性能を確認するための品質保証試験を実施する。

試験は、地盤工学会基準「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」に準じて行う。

(解説)

アンカーの耐力（極限アンカー力）は、設置地盤の強度のばらつきや地層厚さの変化、施工条件によって大きな影響を受ける。設計および施工が適切に行われているかどうかの確認、アンカーの性能確認は試験によって調査する。

試験は、事前にアンカー設計のための基礎資料を得る引抜き試験、実際に施工されたアンカーが所定の性能を有しているかを確認する品質保証試験に大別される。

試験の方法、判定基準等に関しては、地盤工学会基準「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説」に準ずるものとする。

6.2 試験の計画

(1) 試験計画

試験の実施にあたっては、その目的を満足するように十分な検討を行い、試験計画書を作成する。

(2) 試験精度

試験における計測精度は、アンカーの設置条件や試験の目的に応じて決定する。

(3) 試験装置

試験に使用する加力装置、反力装置、計測装置は、所要の性能と容量を有し、事前にその性能が確認されたものとする。

(解説)

(1) 試験計画

アンカーの試験実施に先立ち、下記項目について検討・調査し、円滑に試験が実施できるよう試験計画書を作成する。

- a) アンカー工事の概要、地盤条件、試験の目的、試験の種類、試験実施位置
- b) 試験アンカーの種類と施工方法
- c) 試験方法（試験装置、載荷計画、計測項目と計測装置、試験データの整理方法、試験結果の判定基準）
- d) 仮設計画
- e) 安全計画

(2) 試験精度

荷重計：最小読み値は 1kN を標準とする。

変位計：最小目盛は引抜試験、多サイクル確認試験では 0.1mm、1 サイクル確認試験では 0.5mm を標準とする。

(3) 試験装置

加力装置：センターホール型油圧ジャッキと油圧ポンプを用いる。油圧ジャッキは、その容量とストロークに余裕のあるものを選び、使用に先立ちキャリブレーションを行っておく。

反力装置：引抜き試験には試験用の反力装置が必要になるが、背面地盤に破壊が生じないように反力盤の大きさ、強度、剛性を検討する必要がある。

計測装置：荷重計には加力装置に組み込まれたブルゾン管圧力計や電気式油圧センサー、またはロードセルを用いる。変位計は、アンカーの伸びに対して十分なストロークを有するものを選定することが望ましい。変位計を取り付ける基準梁や基準杭は、載荷の影響で試験中に変位を生じないように設置する。

時計：標準時刻を表示する時計と、試験開始からの経過時間を計測する時計を用意する。

6.3 基本調査試験

アンカーの極限引抜き力およびその挙動を把握し、アンカーの設計に用いる諸定数などを決定するために基本調査試験を実施する。

基本調査試験は、アンカー設計前、またはアンカー施工前に実施し、試験結果により必要に応じて設計の見直しを行う。

(解説)

本体工事に先立ち基本調査試験を実施し、アンカーの極限引抜き力およびその挙動を把握することを原則とする。ただし、施工実績などから同一地盤におけるデータが得られる場合は、試験を省略できるものとする。

基本調査試験の実施は、アンカーの計画・設計前が望ましいが、実際には現場の状況などにより実施が困難で、試験の実施時期は本体工事が開始されてからになることも多い。しかし、このような場合であっても基本調査試験の結果に基づいて最終的に設計の見直しができる態勢を整えておく必要がある。

(1) 試験アンカーと計画最大荷重

アンカーの極限引抜き力は、アンカーの種類や施工方法などによって大きく異なることがあるので、試験アンカーは供用するアンカーと同じ方法で施工する。

試験アンカーの仕様、構造を決定する時の留意点を以下に示す。

- a) アンカーの極限引抜き力を確認する前に PC 鋼より線が破断することがないように、テンドンの構成は、 $\phi 15.2\text{mm} \times 4$ を標準とする。
- b) 試験アンカーの削孔径は、供用アンカーと同じとする。
- c) 試験アンカーのアンカー体長は、計画最大荷重以下で極限引抜き力を確認できるように、供用アンカーのそれよりも短く設定してよい。
- d) 供用するアンカーと異なる打設角で試験した場合、地盤の有効応力の大きさなどにより極限引抜き力が異なる場合があるので、注意が必要である。一般的に、鉛直に打設したアンカーの試験結果は、斜めの場合より大きな極限引抜き力が得られることが多い。

計画最大荷重は、テンドンの構成より 700kN 以下とし、期待する極限引抜き力を検討の上で決定する。

(2) 荷重方法と計測項目

- ① 初期荷重は、計画最大荷重の約 0.1 倍とする。
- ② 荷重段階は初期荷重から計画最大荷重までの間を 5 段階に分け、荷重制御による多サイクル方式で荷重する。計画最大荷重まで荷重しても終局限界状態の破壊が確認できない場合は、さらに 1 サイクルの荷重を追加する。
- ③ 各サイクルの荷重では、アンカー体設置地盤の種別および荷重段階に応じた一定の時間、荷重を保持できることを確認する。
- ④ 各荷重段階における計測は、荷重、変位量、時間などについて行う。

表-6.1 試験結果の整理

項 目		主な記載事項
1	アンカー工事の概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事件名 ・ 工事場所（住所・案内図・位置図） ・ 用途 ・ 工期 ・ その他
2	地盤条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地層の柱状図 ・ 地層断面 ・ N 値より推定される周面摩擦抵抗
3	アンカーの使用目的	<ul style="list-style-type: none"> ・ 使用目的 ・ その他目的に関する記載事項
4	試験の目的と種類	<ul style="list-style-type: none"> ・ 試験の種類（基本調査試験、品質保証試験）
5	試験の実施位置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 試験をするアンカーと地盤との位置（深さ）関係 ・ 敷地平面図（調査ボーリングとの試験アンカー位置関係）
6	試験アンカーの種類と諸元	<ul style="list-style-type: none"> ・ 試験アンカーの工法 ・ テンドンの強度（特性） ・ 設計アンカー力、アンカー体径、長さなど
7	アンカーの施工体制	<ul style="list-style-type: none"> ・ 管理者（責任技術者） ・ 安全管理体制
8	施工方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一般事項 ・ 準拠図書（地盤工学会基準など） ・ 施工フローチャート ・ 作業手順、施工要領 ・ 施工管理、品質管理 ・ 仮設計画 ・ 施工方法（削孔、挿入、加圧など） ・ 使用機械 ・ 使用材料 ・ その他
9	試験方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計画最大荷重 ・ 試験装置 <ul style="list-style-type: none"> 加圧装置（ジャッキキャリブレーション） 反力装置 計測装置 ・ 載荷計画 ・ 計測項目 ・ 試験要員の配置体制 ・ 試験結果の判定基準 ・ データ整理法

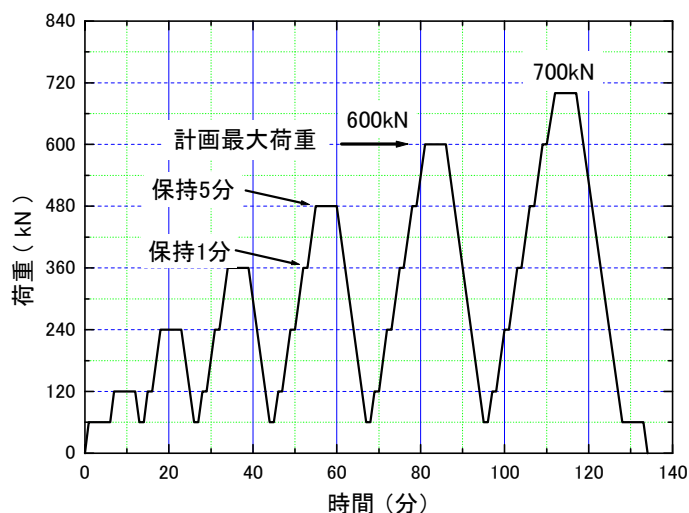


図-6.1 引抜き試験計画の一例

表-6.2 荷重保持時間の目安

	新規荷重段階	履歴内の荷重段階
砂質土	10min 以上の一定時間	1min 以上の一定時間
粘性土		2min 以上の一定時間

(3) 試験結果の整理と判定

- ① アンカー頭部における荷重－変位置曲線、荷重－弾性変位置曲線、荷重－塑性変位置曲線を作成する。
- ② 荷重－弾性変位置曲線からテンドン自由長とテンドン摩擦損失量を求める。
- ③ 荷重－変位置曲線から極限引抜き力を求める。ただし、終極限界状態の破壊に達しない場合には、最大荷重をもって極限引抜き力とみなす。

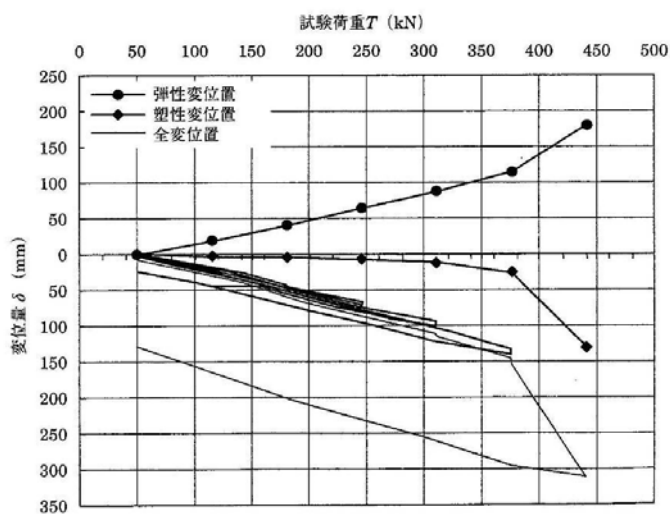


図-6.2 引抜き試験結果整理の例

(2) 1 サイクル確認試験

1) 載荷方法と計測項目（仮設アンカーの場合）

- ① 計画最大荷重は、設計アンカー力の 1.1 倍以上とする。
- ② 初期荷重は計画最大荷重の約 0.1 倍とし、計画最大荷重まで載荷した後、初期荷重まで除荷する 1 サイクル方式とする。
- ③ 計測項目は、荷重、変位量、時間などとする。

2) 試験結果の整理と判定

荷重－変位量の関係を多サイクル確認試験の結果と比較して、アンカーが設計アンカー力に対して十分安全であることを確認する

5. 作業履歴

高耐力アンカー 18年度実験報告と19年度実験予定

① 18年度実験報告

■ 簡易引抜き実験【④簡易引抜き試験1回目 ⑤簡易引抜き試験2回目】

1) 目的

- ・ 耐荷体の強度と破壊モードの確認
- ・ 耐荷体から改良体への荷重伝達機構の確認
- ・ 効果的な耐荷体寸法と改良体強度の組み合わせ確認

2) 概要

- ・ 時期：平成18年9月～11月
- ・ 場所：土木研究所 土工実験棟内
- ・ 概要：改良体強度、耐荷体寸法を変えた6ケースにて実施。Φ700mmのボイド管内に拡径した耐荷体を設置し、所定の強度に配合された注入材を打設した。3日養生後、引抜き試験を実施し荷重の確認、破壊モードの確認を行った。



実験状況

3) 結果

CASE	耐荷体径 (mm)	PC 鋼 より線	改良体強度 (N/mm ²)	極限荷重 (kN)	破壊形態
CASE-1	300	Φ12.7-4本	5.3	477	鋼線が破断
CASE-2	300	〃	8.4	449	〃
CASE-3	300	〃	13.2	496	〃
CASE-4	300	Φ15.2-4本	6.0	564	改良体、耐荷 体が破壊
CASE-5	500	〃	9.7	680	〃
CASE-6	500	〃	5.3	498	〃

4) まとめ

- ・ 600kN の引抜き力を得るには、注入材強度 $\sigma_s=10\text{N/mm}^2$ 以上必要である。
- ・ ひずみデータ等から、スケルトンに荷重が分散された。
- ・ 耐荷体の変形は、破壊時に変形が生じたようである。
- ・ $\Phi 300,500$ のスケルトン径による違いは、今回のケースでは確認できなかった。

5) 課題

- ・ 施工可能な高強度の注入材の開発。
- ・ 拡径方式の確立。

■ 気中拡径・圧送実験【⑥スケルトン気中拡径試験 ⑦CPG 期中圧層試験 ⑧大型土のう圧送試験】

1) 目的

- ・ 考案した方法によるスケルトンの拡径
- ・ 拡径時の注入ロッドの性状確認
- ・ 注入ロッドが座屈した場合の対策方法の検証
- ・ 高強度注入材の圧送確認および注入後の性状確認

2) 概要

- ・ 時期：平成 19 年 1 月～2 月
- ・ 場所：三信建設工業 長浦機材センター内
- ・ 概要：注入ロッド、引張り材を用いて耐荷体の拡径方式を開発した。ロッド長を変化させて(最大 15m)、気中拡径実験を行った。また、実際使用する特殊ポンプにて、高強度注入材の圧送(最大 75m)を行い、性状確認を行った。追加で、フレコンパック内に土砂を充填し、フレコンパック内での充填状況を確認した。



気中拡径実験状況



気中圧送実験状況

3) 結果

気中拡径実験結果

CASE	ロッド長	拡径荷重	ロッドの変状
CASE-a	5m	55kN	無
CASE-b	10m	60kN	〃
CASE-c	15m	60kN	〃

気中圧送実験結果

CASE	配合	圧送長 (ホース+ロッド)	圧送確認	最大圧力 (MPa)	最小圧力 (MPa)	スランプ値(cm)	
						圧送前	圧送後
CASE-1-1	配合① 12N/mm ² (標準単位水量)	60m	×	6.4	2.2	4.0	—
-1-2		60m	○	0.6	0.2	6.0※	3.5
-1-3		75m	○	2.6	0.7	—	3.0※
-1-4		70m	○	1.8	0.6	—	2.5
CASE-2-2	配合② 20N/mm ² (標準単位水量)	60m	○	0.5	0.2	5.0	—
-2-3		75m	○	2.1	0.5	—	4.5
-2-4		70m	○	1.6	0.5	—	3.5
CASE-3-2	配合③ 30N/mm ² (標準水量 -3?)	60m	○	0.4	0.2	6.0※	12.0
-3-3		75m	○	1.9	0.8	—	6.0※
-3-4		70m	○	2.2	0.5	—	9.0
CASE-4	配合① 12N/mm ²	60m	○	1.0	0.5	—	—
CASE-5		60m	○	0.9	0.4	—	—



フレコンパック内改良体状況

4) まとめ

【気中拡径実験】

- ・ ロッドによる拡径方法で問題なく拡径できた。(ロッドの座屈なし)
- ・ 拡径荷重は、60kN 程度であった。

【気中圧送実験】

- ・ 高強度の注入材は、気中で問題なく圧送できた。
- ・ 圧送後のスランプ値は高くなる傾向にあった。
- ・ フレコンパック内での圧送では、耐荷体周りに注入材が充填されなかった。

5) 課題

- ・ 耐荷体周りの注入材充填方法。
- ・ 高強度注入材の地中圧送確認。
- ・ 地中での耐荷体拡径荷重の確認。

■ 地中拵径・圧送実験(STEP1)【⑨地中圧送試験 1 回目】

1) 目的

- ・ 地中での拵径荷重の確認と耐荷体の形状把握。
- ・ 高強度注入材の地中圧送性確認。
- ・ アンカー体形状の把握。
- ・ 極限引抜き力の確認。

2) 概要

- ・ 時期：平成 19 年 3 月
- ・ 場所：土木研究所 土工実験棟内
- ・ 概要：土層(高さ 4m、幅 5m、延長 10m)内に N 値 10 程度(砂質土)の模擬地盤を作成する。地中拵径実験 2 ケース。地中圧送実験 8 ケース行った。

実験ケース

CASE	拵孔径	打設角度	耐荷体	配合強度	目標スランプ値
CASE-1	140mm	鉛直	500	—	5cm
CASE-2	〃	〃	300	—	〃
CASE-3	〃	45°	—	20N/mm2	〃
CASE-4	〃	〃	300	〃	〃
CASE-5	〃	〃	〃	〃	〃
CASE-6	〃	〃	〃	12N/mm2	〃
V-1	73mm	鉛直	—	8N/mm2	〃
V-2	〃	〃	—	20N/mm2	〃
S-1	〃	45°	—	12N/mm2	〃
S-2	〃	〃	—	20N/mm2	15cm



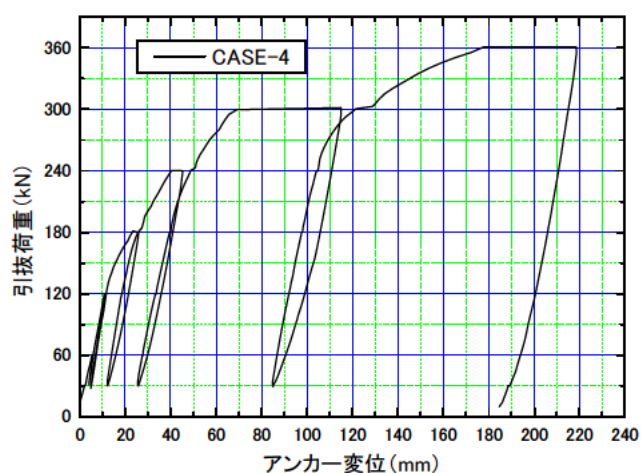
実験状況

3) 結果

CASE	耐荷体径	拡径荷重	状況
CASE-1	500mm	95kN	荷重が収まらず460mmまで引抜いた。
CASE-2	300mm	60kN	問題なし

CASE	配合強度 (N/mm ²)	スランプ値 (cm)	圧入圧力 (MPa)	状況
CASE-3	20	8.5 (水±0ℓ)	1.3~3.2	1ステップ中に孔口から注入材が逆流してきたため、圧入中止。
CASE-4	20	4.0 (水±0ℓ)	0.8~3.3	1ステップ(140ℓ)後、ロッドが引抜けなくなり圧入中止。
CASE-5	20	5.0 (水±0ℓ)	0.3~8.6	1ステップ中に圧入圧力(8MP)が上昇し、圧入中止。
CASE-6	12	5.0 (水±0ℓ)	0.4~2.1	2ステップ時に孔口から注入材が逆流したが、間詰めを行い、所定量注入した。

CASE	配合強度 (N/mm ²)	スランプ値 (cm)	圧入圧力 (MPa)	状況
V-1	8	4.5 (水+2ℓ)	0.2~3.1	問題なし。
V-2	20	4.5 (水-1.5ℓ)	0.4~8.3	2ステップ後、ロッド内閉塞。
S-1	12	6.5 (水±0ℓ)	0.4~1.8	問題なし。
S-2	20	13.5 (水+4.2ℓ)	0.4~8.6	1ステップ(30ℓ程度)で、ロッド内閉塞。



4) まとめ

【地中拡径実験】

- ・ $\Phi 300$ の耐荷体では、気中と同等の拡径荷重であった。
- ・ $\Phi 500$ の耐荷体では、荷重の低下が明確でなかった。

【地中圧送実験】

- ・ 20N/mm^2 の注入材は、閉塞しやすく圧入は困難。
- ・ CPG ロッド引き上げ時は、ロッドを回転させる必要がある。
- ・ 使用した逆流防止装置は機能しなかった。
- ・ 吐出孔より先端方向に、注入材は充填しづらい。
- ・ 上下方向より、左右方向の偏心が目立った。
- ・ 出来形は、圧送量の 70~90% であった。
- ・ 試掘した改良体強度は、気中強度の 2 倍程度であった。
- ・ 300kN からの塑性変位が大きかった。

5) 課題

- ・ 圧入できる高強度注入材の開発。
- ・ 逆流防止装置の改良。
- ・ 耐荷体周りの注入材充填方法。

高耐久アンカー 19年度実験報告と20年度実験予定

① 19年度実験報告

■地中拡径・圧送実験 (STEP2) 【⑫地中圧送試験 2回目】

1) 目的

- ・ 混和剤を使用した高強度注入材の地中圧送確認
- ・ 改良を行った逆流防止装置、拡径冶具の施工確認
- ・ 施工方法、注入材の違いによる出来形比較
- ・ 極限引抜き力のデータ収集

2) 概要

- ・ 時期：平成19年5月～7月
- ・ 場所：土木研究所 土工実験棟内
- ・ 概要：土層(高さ4m、幅5m、延長15m)内にN値5程度(砂質土)の模擬地盤を作成し、地中圧送実験ならびに、改良した逆流防止装置と拡径冶具の施工性確認、施工方法、注入材の違いによる出来高比較確認を行った。

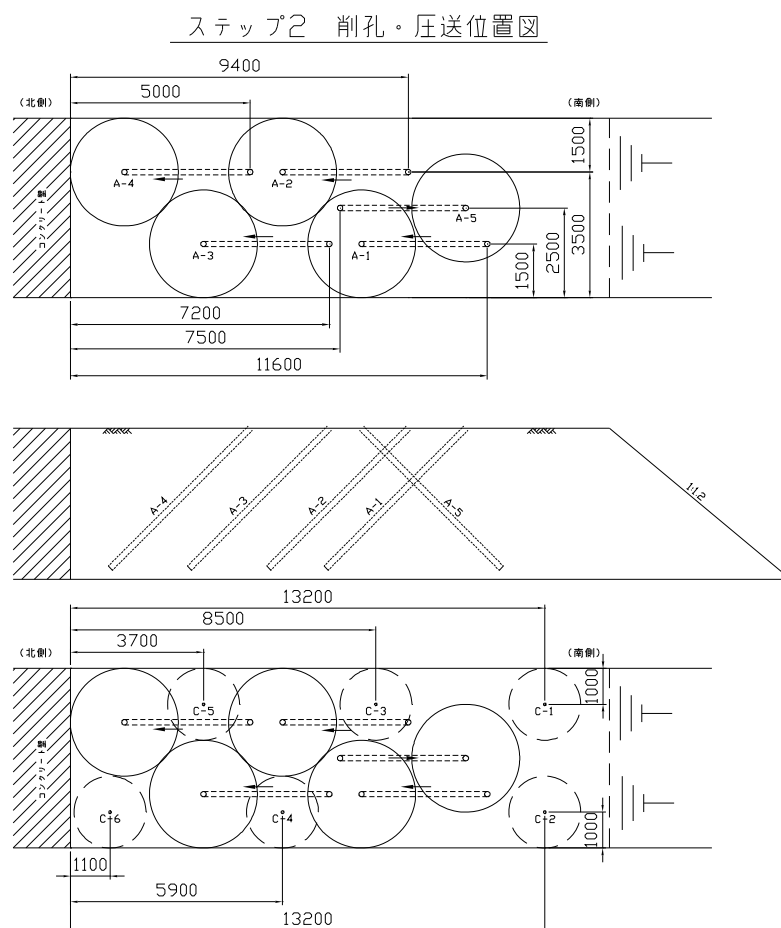


図-1 実験概要図

3) 実験結果

① 混和剤を使用した高強度注入材の地中圧送確認

表-1 圧送結果

CASE	単位セメント量 (kg/m ³)	混和剤	注入角度	削孔径	施工方法	判定
C-1	350	減水剤	鉛直	73mm	標準	×
C-2	400	増粘剤	〃	〃	〃	×
C-3	340	〃	〃	〃	〃	○
C-4	〃	〃	〃	150mm	〃	○
C-5	〃	〃	〃	73mm	繰り返し	×
C-6	〃	〃	〃	〃	竹割り	○
C-7	〃	〃	〃	〃	繰り返し	×
CASE-1	〃	〃	45°	150mm	標準	○
CASE-2	〃	〃	〃	〃	竹割り	○
CASE-3	〃	〃	〃	〃	標準	×
	210	無				○
CASE-4	〃	増粘剤	〃	〃	標準	×
	210	無				×
CASE-5	〃	増粘剤	〃	〃	竹割り	×

【まとめ】

- ・ 増粘剤を添加した場合、閉塞しやすい材料でも圧入することができる。
- ・ 増粘剤を添加した場合、圧縮強度が低下する。(気中養生の場合 70%減)
- ・ 増粘剤を用いても、細粒分が少ない場合閉塞する。
- ・ 減水剤を用いたケースは、閉塞してしまった。
- ・ 繰り返し圧入方法は、今回の材料では圧入することが出来なかった。
- ・ CPG 標準配合でも閉塞したケースがあった。

② 改良を行った逆流防止装置、拡径冶具の施工確認

【逆流防止装置】

C-4 で逆流防止弁 3 個配置し、必要個数を求めた。1 個目 で逆流防止できたため、以後のケースは 1 個とした。

CASE-1,4 : 逆流 CASE-2,3,5 : 逆流なし

【拡径冶具】

いずれも問題なく拡径できた。

【まとめ】

- ・ 改良した拡径冶具は、問題なく拡径できた。
- ・ 改良した逆流防止装置は、テンドンを取り付け STEP した場合、リークした場面があった。
- ・ リークした場合、STEP 及びロッド引き上げに時間を有した。

③ 施工方法、注入材の違いによる出来形比較

表-2 実験結果

CASE	注入材	施工方法	耐荷体	注入量 (計画 490ℓ)	結果
CASE-1	増粘剤	標準	標準	490ℓ	全長 175cm 最大径 60cm 偏心アリ
CASE-2	増粘剤	竹割り形状の 3方向吐出	標準	490ℓ	全長 222cm 最大径 60cm 偏心アリ
CASE-3	増粘剤⇒CPG 標準	標準	先端吐出型	490ℓ	全長 100cm 最大径 90cm 偏心アリ
CASE-4	増粘剤⇒CPG 標準	標準	スケルトン無し	340ℓ	全長 135cm 最大径 60cm 偏心アリ
CASE-5	増粘剤	竹割り形状の 3方向吐出	標準	160ℓ	全長 160cm 最大径 35cm

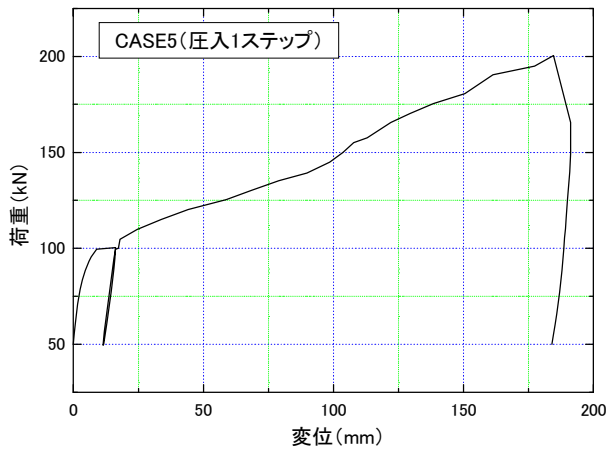
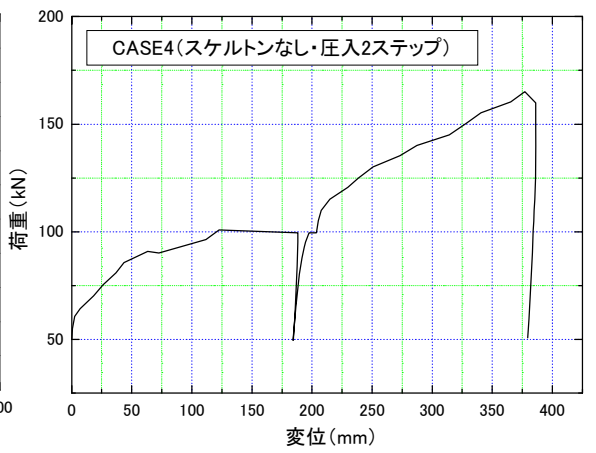
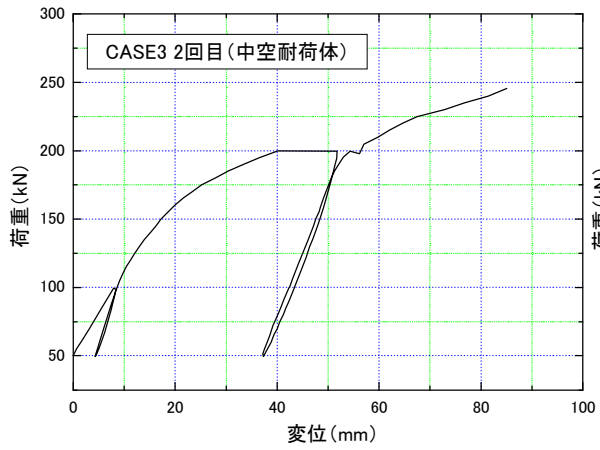
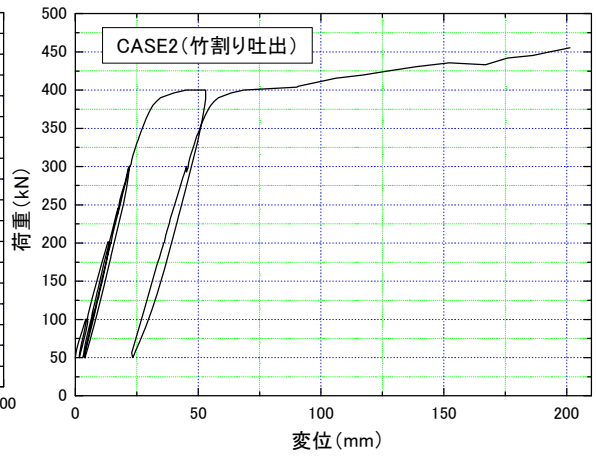
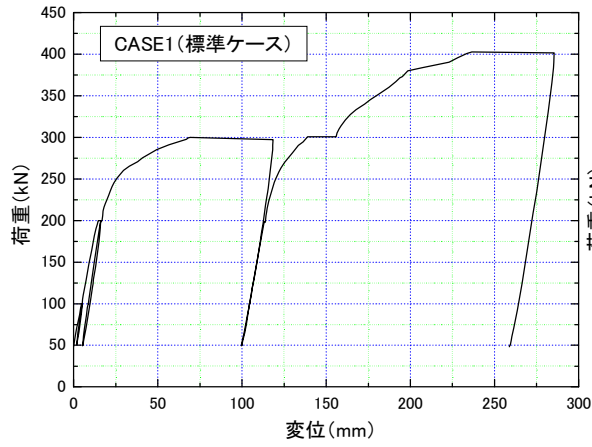
【まとめ】

- ・竹割り吐出の明確な効果は見られなかった。
- ・鉛直では、標準と比較して竹割り吐出、繰り返し吐出の出来形は良い。
- ・どのケースも耐荷体を覆うように改良体を造成できない。(偏心が大きい)
- ・塩ビ管があるケースは、細長い改良体出来る傾向が見られた。
- ・改良体の成長に伴い、耐荷体が移動する場合があった。
- ・CASE-5で見られるように、1STEPでは、ロッド周りの空隙に充填される。
- ・頭部でPC鋼より線を固定していても、鋼線の広がりがあった。
- ・改良体から採取した供試体強度は、気中養生の2倍程度であった。



写真：CASE-1・2 出来形確認

④ 極限引抜き力のデータ収集



【まとめ】

- ・耐荷体周りに注入材が充填されていない場合、改良体と耐荷体との破壊強度で引抜き荷重が決まる。
- ・改良体が破壊された場合、スクリュー型耐荷体は破壊される。
- ・CASE-2では、460kNまで改良体と耐荷体の付着はとれていたと想定される。地盤との付着切れは、400kNで起こったものと推測される。
- ・改良体の有効径が小さい場合(地盤を押し広げない場合 CASE-5)、引抜き荷重は100kN程度である。押し広げたCASE-2と比較して1/3程度である。
- ・既往の評価式による推定値と実験値がほぼ同程度の値であることから、アンカー体としての機能は発揮されているようである。

4) 課題

◆改良体

- ・ 安定的に圧送できない。
- ・ 形状が一定しない。
- ・ 偏心が大きいため、改良体と耐荷体の付着強度が低い。
- ・ 高強度が得られない。

◆耐荷体

- ・ 耐荷体強度が低く、圧縮変形してしまう。
- ・ 改良体造成に伴い、PC鋼より線が広がってしまう。

◆施工性

- ・ 圧送中のトラブルが発生した時に対処できない。
- ・ テンドン挿入、ロッド引き上げ作業が手間である。

■地中圧送実験（長浦機材センター）【⑩CPGの实地盤圧入試験】

1) 目的

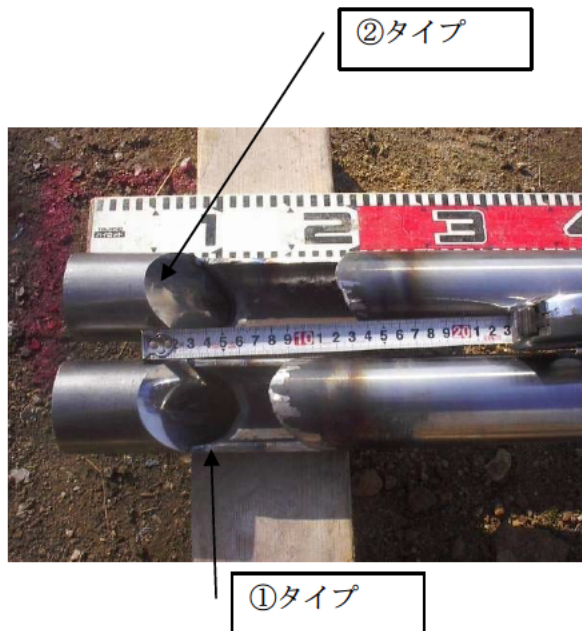
- ・ 開口部を変化させた横だし吐出孔を用いて、地盤内への圧入の確認
- ・ セメント骨材比 4.0(標準 8.5)の高強度注入材の、横だし吐出孔からの圧入の確認
- ・ 袋材の土中での拡径確認

2) 概要

- ・ 時期：平成 19 年 1 2 月～平成 2 0 年 1 月
- ・ 場所：三信建設工業株式会社 長浦機材センター内
- ・ 概要：横だし吐出孔を用いての地盤への圧入の可否の確認と配合を見直した高強度注入材の圧入確認並びに袋材を用いた出来形確認

表-1 実験ケース

CASE	傾角	吐出孔	注入材	注入量			スランプ
				1STEP	2STEP	3STEP	
Case-1	45°	①タイプ	A 配合	150ℓ	—	—	7cm 以下
Case-2	〃	②タイプ	〃	150ℓ	—	—	〃
Case-3	〃	①タイプ	〃	150ℓ	150ℓ	300ℓ	〃
Case-4	〃	①タイプ	B 配合	150ℓ	—	—	〃
Case-5	〃	CPG ロッド	A 配合	150ℓ	—	—	〃



写真：横だし吐出孔、実験状況

3) 実験結果

圧入結果

CASE	傾角 (°)	注入量(ℓ)			圧入圧力(MPa)		
		1STEP	2STEP	3STEP	1STEP	2STEP	3STEP
Case-1	42	150	—	—	0.5~1.9	—	—
Case-2	44	150	—	—	0.5~1.6	—	—
Case-3	42	150	150	300	1.0~1.8	0.4~2.1	1.0~2.5
Case-4	40	150	—	—	1.0~2.1	—	—
Case-5	41	150	—	—	1.0~1.6	—	—

4) まとめ

【圧入結果】

- ・ 横だし吐出孔①、②とも問題なく圧入できた。
- ・ 圧入圧力は CPG ロッド吐出=②吐出孔<①吐出孔であり、開口部が狭い吐出孔の方が圧入圧力が高かった。(+0.2MPa)
- ・ 高強度注入材(B 配合)は、問題なく圧入できたが、標準配合(A 配合)と比べ圧入圧力が高かった。(+0.3MPa)
- ・ CASE-3 3STEP において通常の倍を注入することができた。しかし STEP するごとに圧入圧力は上昇する。

【出来形 (改良体)】

- ・ 左右の偏心は CASE-2 の山側、CASE-5 の海側で無かった。開口部が大きい②吐出孔や CPG ロッドより、開口部が狭い①ロッドが有効性が高い。
- ・ 上下の偏心は、CASE-1,4 が中心より下側に、出来ているようである。同じ吐出孔を用いた CASE-3 は上側に出来ていた。

【出来形 (袋体)】

- ・ 袋材は口元から膨らみ、その後先端側へ材料が流入。
- ・ 土かぶりが小さいため、圧入体は上側へ発達する傾向がより顕著にみられた。
- ・ 袋材の容量は 150ℓ程度であるが、今回の圧送量は 120ℓ程度であった。
- ・ 袋材に破れた箇所はなく、先端部のかしめ部分で少量の材料がリークした跡が見られた。

5) 課題

- ・ 先端側から袋が膨らむように吐出口の位置を袋材の先端部にする。
- ・ 折りたたむとき、袋のたるみは先端部から削孔口側へ伸ばすように折りたたむ。

3) 実験結果

CASE	傾角	吐出孔形状	注入材	耐荷体	袋体	記 事
F-1	45°	標準	高強度	袋用	#800 K2	地盤中で2~3回『ボン』音がし、100ℓ程度で、塩ビ管とロッドの隙間からリーク。逆流防止弁1個。
F-2	〃	〃	〃	リーク型	#500 A3	80ℓ程度で小さな音。その後圧入したが、塩ビ管と地盤との間からリーク。
F-3	〃	〃	〃	袋用		中止
Y-1	〃	〃	標準	—	無	100ℓ程度で、塩ビと地盤との隙間からリーク。
Y-2	〃	横だし	〃	—	無	100ℓ程度で、塩ビと地盤との隙間からリーク。
Y-3	〃	〃	〃	—	無	中止
S-1	〃	標準	高強度	スケルトン	無	80ℓ程度で、塩ビと地盤との隙間からリーク。
S-2	〃	〃	〃	スケルトン(リーク)	無	2STEP(310ℓ)圧送。リーク無。地表面にクラック発生。
G-1	〃	〃	〃	袋用	無	中止
F-4	気中	〃	〃	〃	#800 K2	袋体がすべりロッドの隙間からリーク。縫合部、かしめ部の破損なし。
F-5	〃	〃	〃	〃	#800 K2	袋体縫合部がやぶれた。



写真：実験状況



写真：袋材出来型

4) まとめ

【充填性確認実験】

- ・ 対象地盤強度に出来高に依存する。N=20 の砂地盤で 80%の充填率が得られた。N=10 前後では 100%の充填製を確保できると思われる。
- ・ 地盤が強固の場合、半地中で見られた先端が細い形状ではなく、長手方向に充填されやすい。
- ・ 先端リーク型は袋体が充填される前に先端からリークしてしまった。
- ・ 高強度注入材 ($\sigma_3=18\text{N/mm}^2$) は、施工時のトラブルもなく圧送できた。
- ・ 材料の流動性の確認については、今回は検証できなかった。

【簡易引抜実験】

- ・ 耐荷体の構造として、プレート 1 枚でも 550kN の荷重を伝達できた。
- ・ 破壊が CPG 改良体の引張破壊であったが、実際の地盤では拘束圧が作用しており、脱水による強度増加が期待されることから、より大きな引張り耐力が期待できる。

5) 課題

【袋材】

- ・ 圧力と流量で袋の状態を管理できるか
- ・ 土被りが大きい状態での袋材の出来形確認
- ・ 所定のケーシング内に収まる耐荷体構造の開発

【CPG】

- ・ 土被りが大きい場合の出来形確認
- ・ 横だし吐出孔を用いた場合の出来形
- ・ 袋材と CPG 改良体との密着具合

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.402 December 2009

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754