

P&PC セグメント工法

—技術資料—

令和 7 年 2 月

シールド工法技術協会

目 次

I 設 計

1. 概要	2
2. 適用範囲	4
3. 基本構造	5
3.1 基本形状	5
3.2 継手構造	6
4. 材料	8
5. 許容応力度	10
6. 荷重	12
6.1 荷重の種類	12
6.2 鉛直土圧・鉛直地盤反力および水平土圧・水平地盤反力	12
6.3 水圧	14
6.4 自重	14
6.5 上載荷重	15
6.6 内部荷重	15
6.7 施工時荷重	15
6.8 地震の影響	16
6.9 併設トンネルの影響	16
6.10 地盤沈下の影響	16
7. 構造計算	17
7.1 構造計算の基本	17
7.2 断面力の算定	19
7.3 設計細目	20
7.3.1 主断面の設計	20
7.3.2 セグメント継手の設計	23
7.3.3 リング継手の設計	23
7.3.4 ジャッキ推力に対する設計	23
7.3.5 セグメント縦断方向の剛性評価	24
7.4 構造細目	26
7.4.1 セグメント厚さ	26
7.4.2 セグメント幅	26
7.4.3 セグメント分割	26
7.4.4 Kセグメントの形状	27
7.4.5 横断面方向の緊張箇所数	27
7.4.6 定着	28
7.4.7 防水	29
7.4.8 注入孔と吊り手	30
7.4.9 テーパーリング	30

Ⅱ 施 工

1. 適用範囲	32
2. 運搬および貯蔵	32
3. シール工	33
4. 覆工手順	34
4.1 覆工手順の概要	34
4.2 セグメントの組立	35
4.3 P C 鋼より線の挿入・緊張工	37
4.4 P C グラウト工および跡埋め充填工	39
5. P C 鋼より線の緊張管理	40
6. 曲線施工および蛇行修正	42
7. シールド機	42
8. P C 鋼より線の緊張機器	43
9. P C グラウト用器具	44

Ⅲ 製 作

1. 適用範囲	46
2. P & P C セグメントの製作	47
2.1 一般事項	47
2.2 製作要領書	47
2.3 P & P C セグメントの寸法精度	48
2.4 検 査	49
3. 使用材料	50
4. 製 造	51
4.1 コンクリートの強度および配合	51
4.2 フレッシュコンクリートの製造	51
4.3 型 枠	51
4.4 鋼材の加工および組立	52
4.5 鋼材の固定	52
4.6 コンクリートの打設	53
4.7 養生および脱型	54
4.8 記号表示	55
4.9 貯 蔵	55
4.10 運 搬	55
5. 特殊セグメント	56
5.1 テーパーセグメント	56
5.2 ボルト孔付セグメント	56
6. 強度試験	57

I 設 計

1. 概要

本設計資料は、P&P Cセグメントの設計についての標準を示すものである。なお、細部については責任技術者の判断にゆだねるものとする。

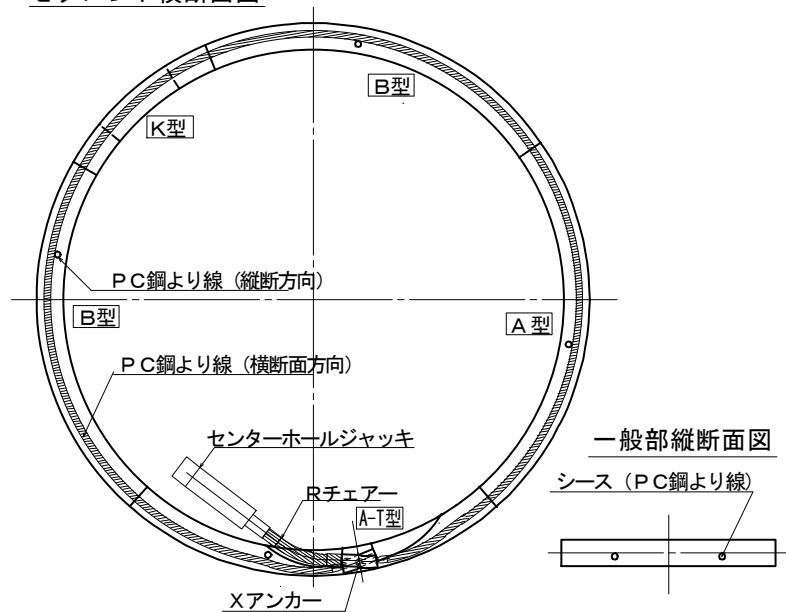
【解説】

P&P Cセグメントの設計方法は、プレストレスの導入およびセグメント継手の設計を除いて(社)土木学会・(社)日本下水道協会共編「シールド工用標準セグメント」のコンクリート系セグメントに準拠することができるため、それらについては概要のみ述べる。

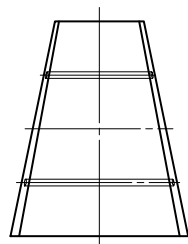
本設計資料で参考にした主な示方書、参考書類は次に示すとおりである。

- ① トンネル標準示方書シールド工法・同解説（2016年）土木学会
- ② コンクリート標準示方書（2023年）土木学会
- ③ シールド工用標準セグメント（令和6年）土木学会・日本下水道協会
- ④ 鉄道構造物等設計標準・同解説トンネル・シールド編（2022年）鉄道総合技術研究所
- ⑤ 道路橋示方書・同解説（平成29年）日本道路協会
- ⑥ 日本工業規格（JIS）日本工業標準調査会
- ⑦ PCグラウトの設計施工指針-改訂版-(平成24年)プレストレスコンクリート工学会

セグメント横断面図



K型セグメント平面図



A-T型セグメント平面図

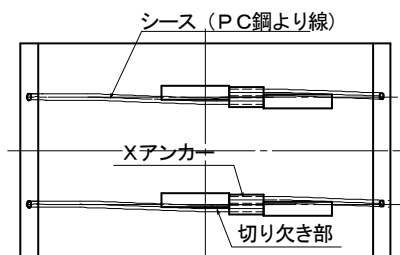


図 1-1 P&P Cセグメント概要図

P&P Cセグメントは、あらかじめシースを埋め込んだコンクリート製のセグメントを1リング組み立てた後、セグメントの一つに設けた切り欠き部からP C鋼より線を挿入して、緊張定着することによってプレストレスを導入する新しいタイプのセグメントである。P C鋼より線としては、摩擦ロスの少ないアンボンドP C鋼より線を使用するため、1周あたり1カ所の片引き緊張で十分なプレストレスを導入できる（図 1-1 参照）。

セグメントの組立は、シールドジャッキにより既設リングに押し付けて固定する方式とし、セグメント間、リング間ともボルト継手などは原則として用いない。ただし、連続性を得るため、セグメント間やリング間に、それぞれほぞ継手を設けることもある。なお、耐震性能や止水性の向上を目的として、縦断方向にプレストレスを導入することもできる。

2. 適用範囲

- (1) 本設計で取り扱う P&P C セグメントは、コンクリートセグメントとする。
- (2) P&P C セグメントの適用に当たっては、各基準類に示されたシールド適用範囲の内容に準拠する。
- (3) 設計条件の設定は、「トンネル標準示方書シールド工法・同解説」に示された内容を基本とし、各適用場面に応じて、各企業の制定した覆工の設計基準類に準拠する。
- (4) 最小曲線半径は、通常のコンクリート系セグメントと同程度とする。

【解説】

P&P C セグメントは、プレキャストコンクリートセグメントにプレストレスを導入することを構造的な特徴としており、セグメントがシールドトンネルの基本的な構造体であることから、更なる高品質化、構造の合理化を目標として開発されたセグメントであり、以下のような特徴を有している。

- ①プレストレスを導入することにより、セグメント継手、リング継手を省略することができる。
- ②本体部の鉄筋量を低減することができる。
- ③内面が平滑であり、止水性に優れるため、二次覆工を省略することができる。
- ④継手ボルト類が不要のため、セグメント組立施工性が向上する。
- ⑤X アンカー（一体型定着体）の使用により補強鉄筋の組立、加工を簡素化することができる。
- ⑥摩擦ロスの少ないアンボンド P C 鋼より線を使用するため、1 周当たり 1 カ所の片引き緊張定着で十分なプレストレスを導入できる。
- ⑦ P C 構造となるため剛性一様なリングとなる。
- ⑧組立時のリング変形が小さく真円度が高いため、セグメントを高精度に施工できる。
- ⑨プレストレス効果と高い真円度により止水性に優れる。
- ⑩内圧トンネルにも適応性が高い。

3. 基本構造

3.1 基本形状

- (1) セグメントの断面形状は、円形を標準とする。
- (2) セグメント幅は、現状のコンクリート系セグメントの適用範囲と同様とする。
- (3) セグメントの直径は、最小径 2.0m 程度、最大径は、現状のコンクリート系セグメントと同等とする。
- (4) セグメントの最小厚さは、150mm 程度とする。

【解説】

(1) 基本的には円形を標準とするが、異形断面にも適用可能である。ただし、異形断面に適用する場合には、P C 鋼より線の配置やプレストレス量等の詳細な検討が必要になり、責任技術者の判断にゆだねるものとする。

(2) シールドの施工性やセグメントの止水性を向上させるためには、セグメント幅を大きくすることが有効である。しかし、セグメント幅を通常のものより大きくすれば、シールド機のテール長が長くなるなど機械設備の負荷を増大させるため、セグメント幅は、対象とするトンネルの外径、線形、セグメント分割等から設定しなければならない。したがって、P&P C セグメントのセグメント幅は、現状のコンクリート系セグメントの適用範囲と同様である。

(3) セグメントの最小径は、構造上の問題ではなく、主にセグメントの搬入、組立等の施工性から決定される。最大径は、現状のコンクリート系セグメントと同等とするが、特に大口径の場合にセグメント自重による影響が大きくなる場合など、変形防止に対してプレストレスが有効であるため、通常のコンクリート系セグメントより有利になる。

(4) 最小厚さは、鉄筋、シースの配置等を考慮して、150mm 程度とする。

3.2 継手構造

P&P Cセグメントは、セグメント間、リング間にプレストレスを導入できることから、基本的にボルト等の引張強度を有する継手は必要としない。

【解説】

(1) セグメント継手

P&P Cセグメントの場合、トンネル横断面方向にプレストレスが導入されることから、セグメント継手として、ボルト等の引張強度を有する継手は必要としない。したがって、継手部は、図 3.2-1 に示すような突き合わせを基本とする。なお、セグメント組立を容易にするために、簡易なほぞや突起を設けることもある。

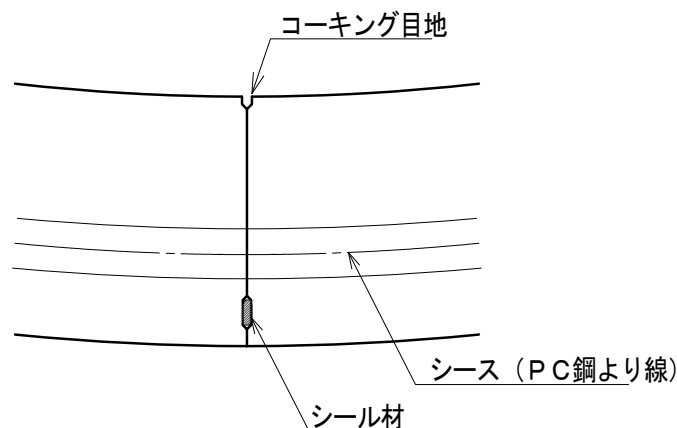


図 3.2-1 セグメント継手の例

(2) リング継手

P&P Cセグメントに用いるリング継手としては、以下のような方法があり、地盤条件やトンネルの規模、用途を勘案して選定する。

① ほぞ継手

地盤が良好で地震の影響や不等沈下によるトンネル縦断方向の影響を考慮する必要がない場合、急曲線部や高水圧時を除けば、ほぞ継手のみでも十分トンネルの連続性が得られる。図 3.2-2 にほぞ継手の例を示す。

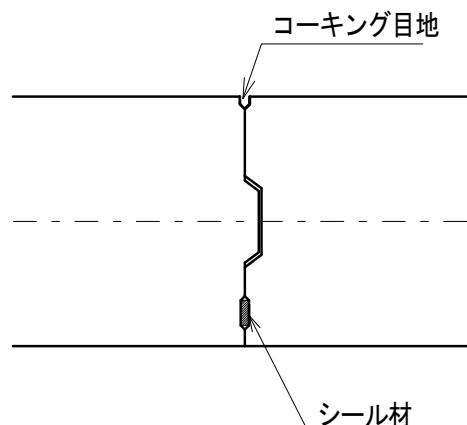


図 3.2-2 ほぞ継手の例

②縦断方向緊張

トンネル横断面方向の緊張方法をそのまま縦断方向に用いることにより、縦断方向にもプレストレスを導入することができる。図 3.2-3 に示すように、数リングを同時に緊張することにより、1 リング当たりの緊張箇所数を少なくすることができる。また、硬質のリングパッキンと組み合わせることにより、止水性を確保した上で、地盤の不等沈下や地震の影響に考慮したフレキシビリティを確保することもできる。なお、隣接リングからのせん断力の伝達を目的として、ほぞ継手を併用することもある。

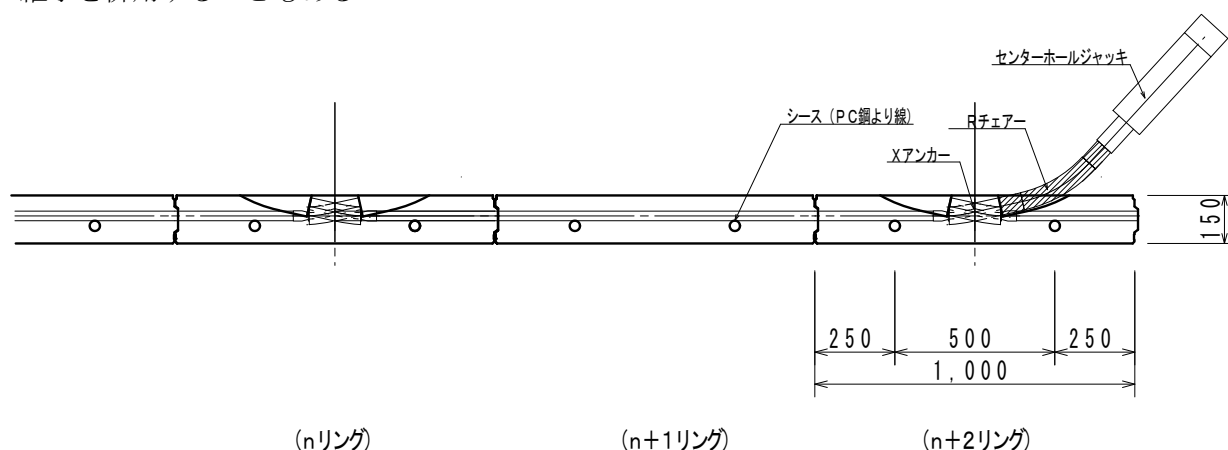


図 3.2-3 ほぞ継手+縦断方向緊張の例

③ワンタッチジョイント

セグメント継手にプレストレスを導入するので、継手の剛性が高く、隣接セグメントに添接効果を期待する必要がある。そのような場合のリング継手としては、リング間の止水性の確保を主目的として、ワンタッチジョイントが考えられる。ワンタッチジョイントは、押し込みのみである程度の締め付け力が導入できるため、作業効率がよく、自動化へも対応しやすい。

4. 材料

P&P Cセグメントに使用する材料は、表 4-1 の規格に適合するものを標準とする。表 4-2 の材料は、規格はないが、適正を調査した上で使用する。なお、コンクリートに使用する水、骨材については、土木学会「コンクリート標準示方書」の規定による。また、表 4-3 にアンボンド P C 鋼より線の仕様を示す。

表 4-1 使用材料の規格

種 別	規 格
①セメント	JIS R 5210 ポルトランドセメント JIS R 5211 高炉セメント A, B, C 3 種 JIS R 5212 シリカセメント A, B, C 3 種 JIS R 5213 フライアッシュセメント A, B, C 3 種
②混和材料	JIS A 6201 フライアッシュ JIS A 6204 コンクリート用化学混和剤 土木学会基準 コンクリート用流動化剤品質基準 土木学会基準 コンクリート用高炉スラグ微粉末規格 (案)
③鋼棒および鋼線	JIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼 JIS G 3521 硬鋼線 JIS G 3532 鉄線 JIS G 3505 軟鋼線材 JIS G 3506 硬鋼線材 JIS G 3109 P C 鋼棒 JIS G 3536 P C 鋼線および P C 鋼より線
④鋼材	JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材 JIS G 3106 溶接構造用圧延鋼材
⑤ボルト・ナット および座金	JIS B 1180 六角ボルト JIS B 1181 六角ナット JIS B 1186 摩擦接合用高力ボルト・六角ナット・平座金のセット JIS B 1256 平座金
⑥鋼管, その他	JIS B 2302 ねじ込み式鋼管製管継手 JIS G 3444 一般構造用炭素鋼鋼管 JIS G 3445 機械構造用炭素鋼鋼管 JIS G 3452 配管用炭素鋼鋼管 JIS G 3454 圧力配管用炭素鋼鋼管 JIS G 3455 高圧配管用炭素鋼鋼管
⑦溶接棒および 溶接ワイヤー	JIS Z 3211 軟鋼用被覆アーク溶接棒 JIS Z 3212 高張力鋼用被覆アーク溶接棒 JIS Z 3312 軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ JIS Z 3313 軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接フラックス入りワイヤ JIS Z 3351 炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク溶接ソリッドワイヤ JIS Z 3352 炭素鋼及び低合金鋼用サブマージアーク溶接フラックス
⑧鋼繊維	土木学会基準 コンクリート用高繊維品質規格

表 4-2 その他の材料

種 別	名 称
防水材	シール材，止水用パッキン・Ｏリング，逆止弁，防水シート
定着具，接続具	Xアンカー，グリップ，アンカープレート，キャスティングプレート
シース	ポリエチレンシース，鋼製シース
P Cグラウト	セメント，混和剤

表 4-3 アンボンドP C鋼より線の仕様(例)

種 類	呼び名	外 径 (mm)	単位重量 (g/m)	被覆厚さ (mm)	グリース重量 (g/m)	被覆材重量 (g/m)
7 本より線	1S 12.4	15.9	819	1.25	35	55
	1S 12.7	16.2	864	1.25	35	55
	1S 15.2B	18.7	1219	1.25	50	68
19 本より線	1S 17.8	21.8	1797	1.50	60	85
	1S 19.3	23.3	2091	1.50	70	90
	1S 20.3	24.3	2319	1.50	75	95
	1S 21.8	25.8	2662	1.50	80	100

【解説】

不静定力および弾性変形の計算に用いる材料のヤング係数は，表 4-4, 4-5 による。

表 4-4 鋼材のヤング係数 (N/mm²)

材 料	ヤング係数
鋼および鋳鋼	2.1×10^5
球状黒鉛鋳鉄	1.7×10^5
P C鋼より線	1.95×10^5

表 4-5 コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

設計基準強度	42	45	48	51	54
ヤング係数	3.3×10^4	3.6×10^4	3.9×10^4	4.2×10^4	4.5×10^4

5. 許容応力度

P&P Cセグメントの許容応力度，およびその割り増しについては，土木学会「トンネル標準示方書シールド工法・同解説」に準じるものとする．

【解説】

(1) 完成時の許容応力度

①コンクリートの許容応力度

P&P Cセグメントに用いるコンクリートの許容応力度を表 5-1 に示す．

表 5-1 コンクリートの許容応力度 (N/mm²)

設計基準強度	σ_{ck}	42	45	48	51	54
許容曲げ圧縮応力度	σ_{ca}	16	17	18	19	20
基準の許容せん断応力度	τ_a	0.73	0.74	0.76	0.78	0.79
許容付着応力度 (異形)	τ_0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2
許容支圧応力度 (全面載荷)	σ_{ba}	15	16	17	18	19
許容支圧応力度 (局部載荷)	σ_{ba}	$\sigma_{ba} \leq 1/2.8 \cdot \sigma_{ck} \sqrt{A/Aa}$ ただし, $\sigma_{ba} \leq \sigma_{ck}$				

※ τ_a は，セグメントの有効高さ $d=20\text{cm}$ ，引張鉄筋比 1%として算出

②鉄筋の許容応力度

鉄筋の許容応力度を表 5-2 に示す．

表 5-2 鉄筋の許容応力度 (N/mm²)

種 類	SR235	SR295	SD295	SD345	SD390
許容引張応力度	140	180	180	200	220

③ P C 鋼より線の許容引張荷重

P C 鋼より線の許容引張荷重を表 5-3 に示す.

表 5-3 P C 鋼より線の許容引張荷重

緊張材の呼び名	断面積 A (mm ²)	引張荷重 Pu (kN)	降伏点荷重 Py (kN)	緊張作業中の 許容引張荷重 0.8Pu, 0.9Py* (kN)	緊張作業直後の 許容引張荷重 0.7Pu, 0.85Py* (kN)
1S 12.4	92.9	160	136	122	112
1S 12.7	98.71	183	156	140	128
1S 15.2B	138.7	261	222	200	183
1S 17.8	208.4	387	330	297	271
1S 19.3	243.7	451	387	348	316
1S 20.3	270.9	495	422	380	347
1S 21.8	312.9	573	495	446	401

* どちらか小さい方の値

(2) 許容応力度の割り増し

シールドジャッキ推力, 裏込め注入圧などの施工時荷重や, 地震の影響のように一時的に作用する荷重に対しては, (1) で定める許容応力度を 50%割り増しして用いる.

6. 荷重

荷重条件は、土木学会「トンネル標準示方書シールド工法・同解説」を基本として、各企業の制定した設計基準類に準ずるものとする。

6.1 荷重の種類

- (1) 鉛直土圧・鉛直地盤反力
- (2) 水平土圧・水平地盤反力
- (3) 水圧
- (4) 自重
- (5) 上載荷重
- (6) 内部荷重
- (7) 施工時荷重
- (8) 地震の影響
- (9) 併設トンネルの影響
- (10) 地盤沈下の影響

【解説】

上記した荷重のうち(1)～(5)を主荷重、(6)～(8)を従荷重、(9)、(10)を特殊荷重として分類する。主荷重は、設計にあたり常に考慮しなければならない荷重であり、従荷重は、施工途中およびトンネル完成後に作用する荷重であって、トンネルの使用目的によって配慮しなければならない荷重、特殊荷重は、地盤の条件、トンネルの使用条件によって特別に考慮しなければならない荷重である。

6.2 鉛直土圧・鉛直地盤反力および水平土圧・水平地盤反力

- (1) 土圧の算定にあたっての水の取り扱いは、地山の条件に応じて、次の考え方で処理する。
 - ①土と水とを分離して取り扱う考え方
 - ②水を土の一部として包含する考え方
- (2) 鉛直土圧は、覆工の頂部に作用する等分布荷重とする。その大きさは、トンネルの土被り、トンネルの断面形状、外径および地山の条件等を考慮して定める。
- (3) 鉛直地盤反力は、トンネル底部において鉛直土圧につり合う等分布荷重として設定する。
- (4) 水平土圧は、覆工の両端部にその横断面の図心直径にわたって水平方向に作用する等変分布荷重とし、その大きさは、鉛直荷重の土圧に側方土圧係数を乗じて算定する。
- (5) 水平方向地盤反力の発生範囲、分布形状および大きさは、設計計算法との関係から定めるものとする。

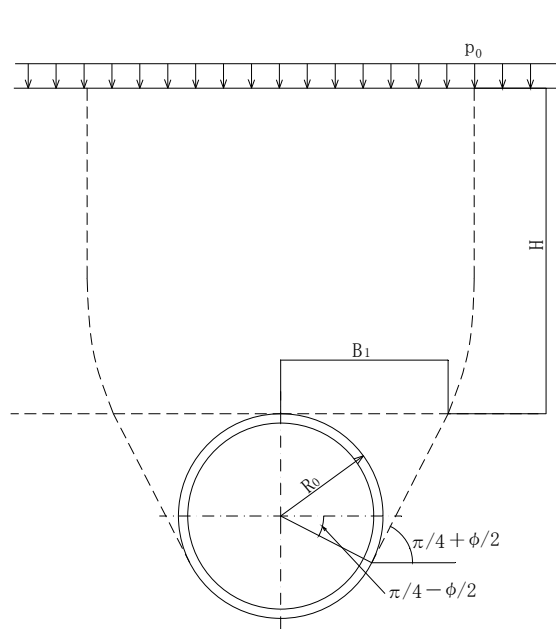
【解説】

- (1) 一般に、砂質土においては土と水を分離して取り扱う考え方、粘性土においては水を土の一部として包含する考え方をとる。

(2) 鉛直土圧の大きさは、以下のようにして定める。

①土被りが 2D (D：トンネルの外径) 以上ある砂質土、硬い粘性土 ($8 \leq N < 25$) および固結した粘性土 ($25 \leq N$) においては、図 6.2-1 に示す Terzaghi の緩み土圧を採用する。

②土被りが 2D 以下の条件、やわらかい粘性土 ($N < 4$) および中位の粘性土 ($4 \leq N < 8$) においては、基本的に全土被り荷重を採用する。



$$\sigma_v = \frac{B_1 (\gamma - c/B_1)}{K_0 \tan \phi} \cdot (1 - e^{-K_0 \tan \phi \cdot H/B_1}) + p_0 \cdot e^{-K_0 \tan \phi \cdot H/B_1}$$

$$B_1 = R_0 \cdot \cot ((\pi/4 + \phi/2)/2)$$

σ_v : Terzaghi の緩み土圧

h_0 : 土の換算緩み高さ ($= \sigma_v / \gamma$)

K_0 : 水平土圧と鉛直土圧の比 (通常 $K_0=1$ としてよい)

ϕ : 土の内部摩擦角

p_0 : 上載荷重

γ : 土の単位体積重量

c : 土の粘着力

ただし、 p_0/γ が H に比し小さい場合は下記の式によってよい。

$$\sigma_v = \frac{B_1 (\gamma - c/B_1)}{K_0 \tan \phi} \cdot (1 - e^{-K_0 \tan \phi \cdot H/B_1})$$

図 6.2-1 緩み土圧の算定 (Terzaghi の式)

(3) 地下水位以下にトンネルを設ける場合で、頂部の土水圧の和が底部の水圧よりも小さくなる場合には、トンネル頂部にこれにつり合う等分布反力を設定する。

(4) 側方土圧係数については、これを的確に選定することは非常に困難であり、一般には表 6.2-1 に示す範囲内で地盤反力係数との関連において適用する。土の種類と標準となる側方土圧係数および地盤反力係数を表 6.2-1 に示す。

表 6.2-1 側方土圧係数 (λ) および地盤反力係数 (k)

土の扱い	土の種類	λ	k (MN/m ³)	N値による目安
土水分離	非常によく締まった砂質土	0.35~0.45	30~50	$30 \leq N$
	締まった砂質土	0.45~0.55	10~30	$15 \leq N < 30$
	緩い砂質土	0.50~0.60	0~10	$N < 15$
	固結した粘性土	0.35~0.45	30~50	$25 \leq N$
	硬い粘性土	0.45~0.55	10~30	$8 \leq N < 25$
	中位の粘性土	0.45~0.55	5~10	$4 \leq N < 8$
土水一体	中位の粘性土	0.65~0.75	5~10	$4 \leq N < 8$
	軟らかい粘性土	0.65~0.75	0~5	$2 \leq N < 4$
	非常に軟らかい粘性土	0.75~0.85	0	$N < 2$

(5) 地盤反力は、設計計算法によって考え方に差異があるが、実例として慣用計算法の場合を示す。

慣用計算法においては、トンネルの側方に作用する水平方向の地盤反力は、覆工の地盤内への変位に伴って発生するとし、覆工の水平直径に対して上下 45° の中心角の範囲に水平直径点を頂点とした三角形分布の地盤反力を用いている。その大きさは水平直径点上の地盤反力が覆工の地盤内への変位に比例して発生するものとして算出している。

6.3 水圧

(1) 水圧は、トンネル施工中および将来の地下水位の変動を想定し、安全な設計となるような地下水位を設定するものとする。

(2) 鉛直方向の水圧は等分布荷重、水平方向は等変分布荷重とし、その大きさは静水圧とする。

【解説】

水圧は、土圧の算定において土と水を分離して考える場合に適用するものとする。

(1) 覆工に作用する水圧は、トンネル施工中にはその施工条件などにより、原地盤の水圧とはかなり異なった様相を示す。また、トンネル施工後には、長期の間に自然あるいは人為的な影響により地下水位が変動するので、作用する水圧の予測はきわめて難しい。円形トンネルでは、設計計算上、地下水位を高く採ることが必ずしも安全側の設計となるものでなく、むしろ地下水圧は、低く抑えて設計しておくことの方が安全側の設計となる場合が多い。このようなことから水圧の計算に用いる地下水位の設定については十分検討を行うことが重要である。

(2) 地下水位以下における土の重量に水中重量を用いるならば、水圧には、静水圧を採用するのが妥当である。

6.4 自重

自重は、覆工の図心線に沿って分布する鉛直方向の荷重とする。

【解説】

自重は、セグメント横断面における図心線に沿って等分布する鉛直方向の荷重とし、次式で算定する。

$$g = \frac{w}{2\pi \cdot R_c} \quad (\text{kN/m}^2)$$

ここに、 w : セグメント単位長さ当たり重量 (kN/m)

R_c : セグメントの図心半径 (m)

6.5 上載荷重

上載荷重の土圧への影響は、土中の応力伝播を考慮して定める。

【解説】

道路下にトンネルを築造する場合、路面荷重を考慮した上載荷重が 10kN/m^2 以下となる場合、 $p_0=10\text{kN/m}^2$ としてよい。

6.6 内部荷重

内部荷重としては、圧力トンネルの水圧、床版の支点反力、トンネル内に懸架される荷重等が考えられ、セグメントの強度と変形に影響すると考えられる荷重については実状に応じて検討する。

【解説】

内部荷重は、トンネルの使用目的によって異なり、これらが覆工に作用した場合においても構造の安全性が確かめられなければならない。

内水圧を受けるトンネルの場合は、二次覆工を含めた適切な構造モデルを選定し、荷重の履歴やトンネルに発生する応力の履歴を十分に考慮して必要な検討を行うべきである。この場合に、セグメントに作用させる土圧、水圧は、特にトンネルの安全性を第一として、慎重に設定することが要求される。

6.7 施工時荷重

施工にあたって考慮する荷重は、次のとおりとする。

- (1) ジャッキ推力
- (2) 裏込め注入圧
- (3) その他

【解説】

(1) について

シールドジャッキ推力に対するセグメントの検討では、シールドの実装備ジャッキがもつ公称推力を用いて、ジャッキ操作に伴う偏荷重の発生、一時的な内外側圧のバランスの崩れ等を考慮し、偏心を考慮した推力に対してセグメントの安全性を確認する必要がある。

(2) について

テールボイドに裏込め注入を行った場合、注入孔周辺のセグメントに注入圧が偏荷重として一時的に作用することがある。このため、セグメントの設計にあたっては、施工条件に応じた注入圧を設定し、セグメント各部の検討を行う必要がある。

(3) について

その他の施工時荷重としては、後方台車の自重の影響、カッタ回転力の影響等が考えられるが、これらについては必要に応じて荷重を設定して検討する。

6.8 地震の影響

地震の影響が考えられる場合は、重要度に応じてトンネルの立地条件、地山の条件、当該地域の地震動、トンネルの構造・形状・寸法、その他必要な条件を考慮して検討を行う。

【解説】

「トンネル標準示方書シールド工法・同解説」に準じる。

6.9 併設トンネルの影響

トンネルを近接して併設する場合には、土質条件、トンネル相互の位置関係、トンネル径等を検討し、荷重に相互干渉の影響を受けることが予測される時は、これらを考慮する。

【解説】

「トンネル標準示方書シールド工法・同解説」に準じる。

6.10 地盤沈下の影響

軟弱地盤中にトンネルを構築する場合には、必要に応じて地盤沈下の影響を検討する。

【解説】

「トンネル標準示方書シールド工法・同解説」に準じる。

7. 構造計算

7.1 構造計算の基本

(1) トンネルの構造計算は、施工途中の各段階および完成後の状態に応じた荷重に対して行わなければならない。

(2) トンネル横断面に対する設計荷重は、設計の対象となるトンネル区間内の最も不利な条件を基として定めなければならない。

(3) P&P Cセグメントの構造モデルは、トンネル横断面方向のプレストレス量によって、以下の方法に分けて考えることができる。これらの使い分けは、トンネルの用途、地盤条件、許容される変形量、経済性等を勘案して適したものを選定する。

- ①セグメントリングをフルプレストレス構造とする場合
- ②セグメント本体部をP R C構造、継手部をフルプレストレス構造とする場合
- ③セグメント継手の剛性低下を許容する場合

【解説】

(1) について

P&P Cセグメントの設計は、トンネル完成後長年にわたって作用する荷重に対して行うほか、次に示す事項に対しても行わなければならない。

- 1) セグメント組立直後から裏込め注入材が硬化するまでの間のセグメントリングの安定性、断面力および変形に対する検討
- 2) ジャッキ推力によるセグメントの断面力と変形に対する検討
- 3) 裏込め注入圧によるセグメントの断面力と変形に対する検討
- 4) 急曲線施工時の検討
- 5) 地盤が急変する場合の検討
- 6) トンネルと立坑接合部の検討
- 7) 将来予想される荷重変動の影響、近接施工時の影響等、各種状況に応じた検討

(2) について

荷重を設定するのに必要な土被りおよび地山の条件等は、トンネル縦断方向に対して変化するのが普通であるが、それに対応して覆工を設計することは、施工性と経済性との観点から好ましくない。しかし、荷重の条件が、著しく変わる区間では、経済性を考慮してトンネルを区分し、区分したそれぞれの区間では同一の設計条件で覆工の設計を行うのが一般的である。

(3) について

① 曲げモーメントおよび縦断方向力によるコンクリートの応力度がセグメント全周にわたって引張応力度にならないように、同時に許容圧縮応力度以下になるようにプレストレスを導入する。この場合、セグメントは、剛性一様なリングである。

② セグメント継手を曲げモーメントの大きい上下左右の位置を避けて設けることとし、セグメント継手部については、その位置の曲げモーメントに対し全圧縮応力状態となるように、同時にセグメント本体部については、引張応力の発生を許容してプレストレスと鉄筋の両方で曲げモーメントに対抗する状態となるように、適度なプレストレスを導入する。

この場合、セグメント継手は、①と同様に全圧縮応力状態となるため、セグメントリングは通常の鉄筋コンクリート構造と同様に、剛性一様なリングとして考えることができる。

③ セグメント横断面方向の導入プレストレスをさらに減らして、組立精度や止水性の確保のため、組立時の自重による断面力に対し、全圧縮状態となる程度のプレストレスを導入する。この場合、地山荷重による断面力に対しては、セグメント継手面は無応力域が発生し、セグメント継手の剛性は、本体部に比べて低下する。この場合も標準セグメントと同様に、剛性一様なリングとして慣用計算法による計算が成立するが、継手の剛性低下を評価する必要がある場合は、修正慣用計算法やはりーばねモデルを用いる。また、リング変形量が大きくなる場合は、千鳥組による添接効果により、変形を抑制することもできる。

表 7.1-1 P&P Cセグメントの設計法

種 別	緊張力	継手の剛性	リング変形	断面力の計算	緊張コスト
①セグメントリングをフルプレストレス構造とする。	大	大	小	剛性一様なリングとして扱う	大
②セグメント本体部をP R C構造、継手部をフルプレストレス構造とする。	中	中	中	同 上	中
③セグメント継手の剛性低下を許容する。	小	小	大	a. 剛性一様なリングとして扱う b. はりーばねモデルとして扱う	小

7.2 断面力の算定

セグメントの断面力は、その構造特性を考慮して計算するものとする。

【解説】

(1) 計算方法

P&P Cセグメントは、標準コンクリート系セグメントと同様に継手を有するリングとなるが、トンネル横断面方向にプレストレスが導入されるため、継手位置が全圧縮応力状態となる間は継手の曲げ剛性は低下しないと考えることができる。よって、継手位置をフルプレストレス構造とする場合（前項7.1の(3)の①、②）の断面力の算定は、慣用計算法、フレーム計算法のいずれの場合も、継手部にセグメント主断面と同一の曲げ剛性 $E I$ をもった、曲げ剛性一様なリングと考えて、断面力を算出する。また、セグメント継手の剛性低下を許容する場合（前項7.1の(3)の③）も、プレストレスの効果により継手剛性は相対的に高いことから、継手位置をフルプレストレス構造とする場合と同様に、曲げ剛性一様なリングと考えて、断面力を算出してよい。ただし、変形量に制限がある場合は、継手の曲げ剛性の低下をリング全体の曲げ剛性の低下として評価した修正慣用計算法やセグメントリングを回転ばねをもつリングと考える、いわゆるはりばねモデルにより算定する。また、千鳥組による添接効果を考慮する場合も、標準コンクリート系セグメントと同様に修正慣用計算法では、継手部と本体部の曲げモーメント分配率を考慮することにより、はりばねモデルでは、リング間のせん断ばねで評価することによる。

はりばねモデルにより断面力を算定する場合のセグメント継手の回転ばね定数は、P&P Cセグメントのセグメント継手が、標準セグメントのようなボルトで締結する継手とは異なり、コンクリート面を突き合わせた形状となるため、継手部に作用する軸圧縮力と曲げモーメントおよび継手部の形状から求める必要がある。理論式としては、継手部の幾何学的関係から導かれたLeonhardt, Reimannの「Betongelenke」の式がある。また、継手部をモデル化しFEM解析により求める方法もある。

同様に、P&P Cセグメントに用いるリング継手には、(a)ほぞ継手、(b)縦断方向緊張、(c)ワシタッチジョイント、(d)それらの組合せなどの方法があるため、はりばねモデルにより断面力を算定する場合のリング継手のせん断ばね定数は、それらの継手の特性を考慮して、個々に定める必要がある。

(2) 断面諸量の算定

P&P Cセグメントは、平板形の鉄筋コンクリート部材となるため、断面力の算定には、鉄筋の影響を無視した、コンクリート断面の断面性能を用いる。なお、継手部のコーキング目地や、定着部切り欠きは、極めて小さく、断面欠損の影響が少ないと考えられるため、コンクリート全断面を有効と考える。

また、断面力算定時の設計軸線は、主断面の図心位置とする。

7.3 設計細目

7.3.1 主断面の設計

P&P Cセグメントの主断面の設計は、7.2 で求めた断面力を用いて許容応力度設計法により行う。

【解説】

プレストレスコンクリートとして扱う場合は、曲げモーメントおよび縦断方向力によるコンクリートの応力度が引張応力度にならないように、同時に許容圧縮応力度以下になるようにプレストレスを導入する。この際、必要に応じてセグメント厚さと最小かぶりから決まる余裕範囲内でP C鋼より線をだ円形状に配置して、偏心モーメントを導入することもできる。また、セグメント主断面をP R C構造として扱う場合は、7.2 で求めた荷重による断面力にプレストレスによる縦断方向力および偏心モーメントを足し合わせた断面力を用いて複鉄筋矩形断面として設計する。

(1) プレストレス力の計算

設計上考慮するプレストレス力は、緊張材端に与えた引張力によるプレストレス力から、各種損失を差し引いて求める。また、緊張材端に与える導入緊張力は、表 5-3 の許容引張荷重から、曲げ半径から定まる素線外側の応力増加分を差し引いて決定する。

① ストランド素線に生じる曲げ応力を考慮した引張強度

$$\sigma'_{pu} = \sigma_{pu} - \frac{d}{2R} E_p$$

σ'_{pu} : ストランド素線に生じる曲げモーメントを
考慮した引張強度 (N/mm²)

σ_{pu} : 引張強度 (N/mm²)

d : 素線の直径 (mm)

R : 曲げ半径 (mm)

E_p : ヤング係数 (N/mm²)

② 緊張作業中および直後に生じるプレストレス力の損失

・ P C鋼より線とシースとの間の摩擦

一般に摩擦によるP C鋼より線の引張力の減少は、P C鋼より線の図心線の角変化に関する項と、P C鋼より線の長さに関する項とに分けて次式で表すことができる。

$$P = P_0 e^{-(\mu\alpha + \lambda L)}$$

P : 任意の位置の設計断面におけるP C鋼より線の引張力

P_0 : P C鋼より線のジャッキの位置の引張力

μ : 角変化1ラジアン当たりの摩擦係数

α : 角変化 (ラジアン)

λ : P C鋼より線の長さ1m当たりの摩擦係数

L : P C鋼より線の長さ (m)

なお、アンボンドP C鋼より線の摩擦係数は、表 7.3-1 を目安とする。

表 7.3-1 アンボンドPC鋼より線の摩擦係数

	カタログ値	実験値※
角変化1ラジアン当たりの摩擦係数 μ (1/rad)	0.06	0.03
PC鋼より線の長さ1m当たりの摩擦係数 λ (1/m)	0.002	0.001

※内径2.1mで、1T12.7および1T15.2BのPC鋼より線を使用した緊張試験での値

・PC鋼より線のセット量

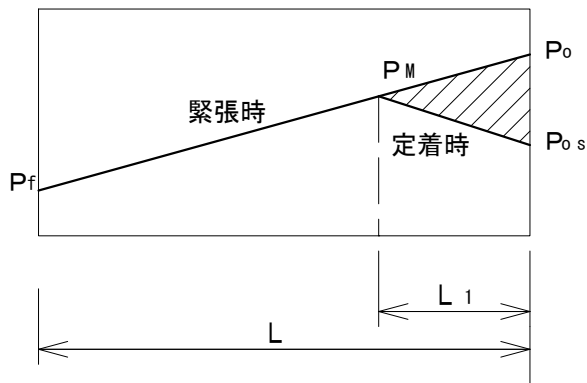
PC鋼より線を許容引張荷重で定着する時、PC鋼より線が引き込まれることによって生じるセット量は、緊張端での緊張応力の減少につながる。表7.3-2にPC鋼より線のセット量を示す。

表 7.3-2 PC鋼より線のセット量 (mm)

PC鋼より線 (mm)	定 着 具	
	キャスティングプレート	グリッパ
$\phi 12.4 \sim \phi 17.8$	3	3
$\phi 19.3$	—	3.5
$\phi 20.3$	—	4
$\phi 21.8$	—	4

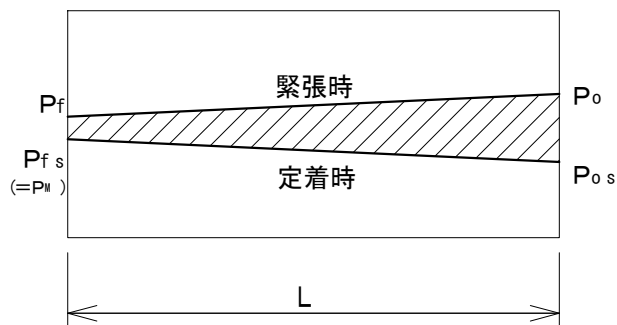
PC鋼より線とシースとの間に摩擦がある場合、セット量によるPC鋼より線の引張応力の減少は次のようになる。

$L \geq L_1$ の場合



$$\begin{aligned}\Delta P_0 &= P_0 - P_{0s} \\ &= \frac{2\Delta S}{L_1} E_p A_p \\ L_1 &= \sqrt{\frac{\Delta S E_p A_p}{(\mu\alpha + \lambda)P_0}}\end{aligned}$$

$L \leq L_1$ の場合



$$\begin{aligned}\Delta P_0 &= P_0 - P_{0s} \\ &= \frac{\Delta S}{L} E_p A_p + P_0 (\mu\alpha + \lambda)L \\ \Delta P_f &= P_f - P_{fs} \\ &= \frac{\Delta S}{L} E_p A_p - P_0 (\mu\alpha + \lambda)L\end{aligned}$$

P_0 : P C 鋼より線緊張端の引張荷重
 P_f : P C 鋼より線固定端の引張荷重
 P_{0S} : 定着後の P C 鋼より線緊張端の引張荷重
 P_{fS} : 定着後の P C 鋼より線固定端の引張荷重
 P_M : 緊張定着完了後の P C 鋼より線の最大引張荷重
 ΔS : セット量
 E_p : P C 鋼より線のヤング係数
 A_p : P C 鋼より線の断面積
 $\Delta \alpha$: P C 鋼より線の 1m 当たりの角変化
 L : P C 鋼より線の長さ
 L_1 : セット量による引張応力の減少の影響が及ぶ距離
 ※緊張時の導入荷重は P_M が定着完了時の許容荷重である $0.80 \times$
 (P C 鋼より線の降伏規格荷重) より小さくなるように設定する.

・コンクリートの弾性変形の影響

P C 鋼より線を順次に緊張する場合、コンクリートの弾性変形による緊張材引張力の減少量を考慮する必要がある。この場合、引張応力減少量は次式で計算する。

なお、 $\sigma_{cpg}=1$ (N/mm²) 程度の時は、 $\Delta \sigma_p$ は無視してよい。

$$\Delta \sigma_p = \frac{1}{2} n \sigma_{cpg}$$

$\Delta \sigma_p$: P C 鋼より線の引張応力度減少量

n : ヤング係数比 (= E_p/E_c)

σ_{cpg} : 緊張作業による緊張材図心位置の
コンクリートの圧縮応力度

③プレストレス力の経時的減少量

コンクリートのクリープ、乾燥収縮、P C 鋼より線のレラクセーションによって生じる引張応力の減少量は、緊張時材齢、P C 鋼より線の使用量、偏心距離等により異なるが、概略設計に用いる場合、P C 鋼より線の最終のプレストレス力の有効率 (η) は、概ね、以下としてよい。

$$\eta = 0.85$$

7.3.2 セグメント継手の設計

P&P Cセグメントのセグメント継手の設計は、標準コンクリート系セグメントのようなボルト継手を用いずに、コンクリート面が突き合わされた形状となるため、その突き合わせ面の応力状態を照査する。

【解説】

セグメント継手面には、p 6 の図 3.2-1 に示すように、セグメント内面の欠け防止として、面取り（またはコーキング目地）がほどこされている。このため、フルプレストレス構造の場合、継手位置のセグメント厚さに応じた断面性能に対し、曲げモーメントおよび縦断方向力によるコンクリートの縁応力度が引張応力度（無応力状態）にならないように、同時に許容圧縮応力度以下になるようにプレストレスを導入する。また、セグメント継手の剛性低下を許容する場合は、同様にプレストレスを含めたコンクリートの縁応力度が許容圧縮応力度を上回らないことを照査する。

7.3.3 リング継手の設計

リング継手の設計は、セグメント継手部の応力状態を検討した上で、その状態に応じて設計する。

【解説】

セグメント継手をフルプレストレス構造とする場合、セグメントは剛性一様なリングと考えることができ、千鳥組による添接効果を期待する必要がないため、リング継手にはせん断力は働かないと考えることができる。ただし、組立時の作業性や止水性を考慮して、リング継手構造を決定する。一方、セグメント継手の剛性低下を考慮して千鳥組による添接効果を期待する場合は、はりばねモデルにより計算された最大せん断力に対し、リング継手を設計する。

なお、地震の影響や地盤沈下等によるトンネル縦断方向の挙動や急曲線施工の影響に対しては、必要により検討を行う。

7.3.4 ジャッキ推力に対する設計

シールドジャッキ推力に対する設計は、シールド実装備ジャッキの公称推力を用いて設計する。

【解説】

シールドジャッキ推力は、スプレッドで覆われる有効断面について、半径方向に $e=1\text{cm}$ 偏心してジャッキ実装備推力が軸力としてかかる短柱として考えて、コンクリートの曲げ圧縮応力度が短期許容応力度以下になるように設計する。図 7.3-1 にシールドテール部概要図を示す。

$$\sigma_{\max} = \left[\frac{1}{A_0} + e \frac{h/2}{I'} \right] P$$

- $\sigma_{\max}$: ジャッキ推力によるコンクリートの最大応力
 p : ジャッキ 1 本当たりの推力
 A_0 : スプレッダに接するセグメントの面積
 e : ジャッキ重心とセグメント図心の半径方向偏心距離 (1cm)
 I' : スプレッダの幅におけるセグメントの断面二次モーメント
 h : セグメント厚さ

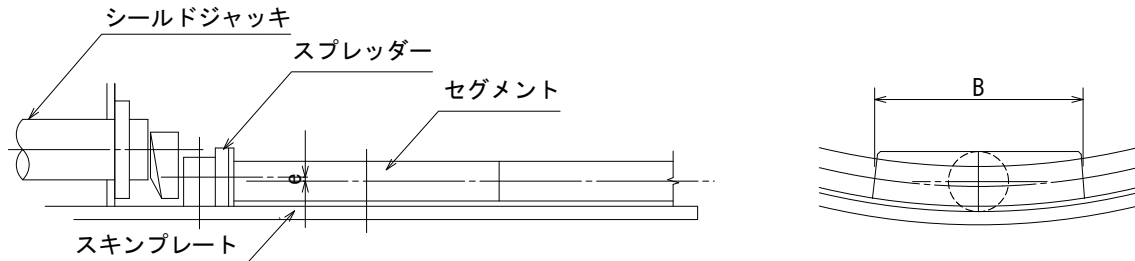


図 7.3-1 シールドテール部 概要図

7.3.5 セグメント縦断方向の剛性評価

P & P Cセグメントの縦断方向の剛性は、等価剛性で評価することを原則とし、リング間の離間の有無によって変化するため、これに応じて算出する。

【解説】

耐震検討や、地盤沈下時検討において、継手を含めた管渠全体を一樣な剛性（等価剛性）に換算して検討を行う場合、等価剛性は、地震等による地盤変位の作用方向により評価が異なる。

一般のセグメントの場合、管軸方向圧縮力が作用する場合は、セグメントの各継手部はほぼ完全に密着するため、管渠の剛性は、セグメント本体の剛性にほぼ等しい。また、管軸方向引張力が作用する場合は、セグメント継手部の荷重負担が大きいいため、継手構造の剛性を含めた剛性評価を必要とする。

一方、トンネル縦断方向にプレストレスを導入した P & P Cセグメントの場合、管軸方向圧縮力が作用する場合は、一般のセグメントと同様であるが、管軸方向引張力が作用する場合でも、引張力がトンネル縦断方向に導入されたプレストレスによる軸圧縮力よりも小さい間は、リング間に離間は生じず、管渠の剛性は、セグメント本体の剛性にほぼ等しいと考えることができる。したがって、トンネル縦断方向にプレストレスを導入した P & P Cセグメントの剛性評価は、リング間の離間の有無を式 7.3-1 によって判定し、これに基づいて等価剛性を算出する。これを用いて耐震計算等を行った結果、仮定した離間条件を満足しない場合には、再度離間条件を仮定しなおして耐震計算等を行うものとする。

$$\begin{aligned}
 P' \geq P_e & \quad \text{リング間が離間すると見なす場合} \\
 P' < P_e & \quad \text{リング間が離間しないと見なす場合}
 \end{aligned}
 \tag{式 7.3-1}$$

ここに、 P' : P & P Cセグメントに生じる地震の影響等による軸引張力 (kN)

P_e : P & P Cセグメントの縦断方向の有効緊張力 (kN)

なお、地盤の変形条件や管渠の重要度などから、より詳細な検討が必要な場合は、材料の非線形特性を入力した3次元FEM解析やファイバーモデルを用いた骨組み解析を用いて、荷重状態に応じた軸剛性や曲げ剛性の評価を直接行う。

(1) 等価軸剛性の算出

P & P Cセグメントの等価軸剛性は、リング間が離間する前は、セグメント本体の軸剛性に、また、離間後は、縦断方向のP C鋼材の軸剛性となる。なお、アンボンドP C構造のため、セグメントとP C鋼材に付着はなく、セグメント本体に引張力は作用しないものとする。

$$\begin{aligned} \text{(離間前)} \quad (EA)_{eq}^c &= E_c \cdot A_c \\ E_c &: \text{セグメントのヤング係数 (kN/m}^2\text{)} \\ A_c &: \text{セグメントの断面積 (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(離間後)} \quad (EA)_{eq}^t &= E_p \cdot A_p \cdot n_p \\ E_p &: \text{P C鋼材のヤング係数 (kN/m}^2\text{)} \\ A_p &: \text{P C鋼材の断面積 (m}^2\text{)} \\ n_p &: \text{P C鋼材の本数 (本)} \end{aligned}$$

(2) 等価曲げ剛性の算出

P & P Cセグメントの等価曲げ剛性は、リング間が離間する前は、セグメント本体の曲げ剛性となる。また、離間後は、圧縮側はセグメント本体で、引張側は、縦断方向のP C鋼材で抵抗するものとして算出する。

$$\begin{aligned} \text{(離間前)} \quad (EI)_{eq}^c &= E_c \cdot I_c \\ \text{(離間後)} \quad (EI)_{eq}^t &= \frac{\cos^3 \phi}{\cos \phi + \left(\frac{\pi}{2} + \phi \right) \sin \phi} E_c \cdot I_c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &: \text{セグメントのヤング係数 (kN/m}^2\text{)} \\ I_c &: \text{セグメントの断面二次モーメント (m}^4\text{)} \\ \phi &: \text{トンネル断面中央から中立軸までの角度で、下式を満足する値} \end{aligned}$$

$$\phi + \cot \phi = \pi \left(\frac{1}{2} + \frac{k_p}{E_c \cdot A_c / B} \right)$$

$$\begin{aligned} k_p &: \text{P C鋼材の軸剛性} \\ k_p &= E_p \cdot A_p \cdot n_p / L_p \\ E_p &: \text{P C鋼材のヤング係数 (kN/m}^2\text{)} \\ A_p &: \text{P C鋼材の断面積 (m}^2\text{)} \\ n_p &: \text{P C鋼材の本数 (本)} \\ L_p &: \text{P C鋼材の有効長 (m)} \\ B &: \text{セグメント幅 (m)} \end{aligned}$$

7.4 構造細目

7.4.1 セグメント厚さ

P&P Cセグメント厚さは、荷重条件、構造条件を勘案して決定する。

【解説】

P&P Cセグメントの厚さは、トンネルの必要断面に対して土質条件、土被り、ジャッキ推力などの主として荷重条件から定まるが、小口径トンネルの場合、定着体やシースの配置、かぶりの確保等の構造的要因で決まる場合もある。

7.4.2 セグメント幅

P&P Cセグメントの幅は、施工性、経済性を考慮した上で決定する。

【解説】

P&P Cセグメントの幅は、セグメントの製작성や、施工サイクルの向上の面では、大きいほうが望ましいが、搬入や組立の施工性、シールドマシンの機構や方向制御性等を勘案して定める必要がある。

7.4.3 セグメントの分割

P&P Cセグメントの分割は、トンネル径、施工条件および継手配置と施工性を考慮した上で決定する。

【解説】

P&P Cセグメントは、数個のAセグメントと2個のBセグメントおよび頂点付近で最後に組み立てられるKセグメントから構成する。Kセグメントの形状は、トンネル内側への脱落防止を目的として、基本的には軸方向挿入型とする。

P&P Cセグメントの分割数は、製作および組立速度の向上の面からは、できるだけ少ないほうが望ましく、運搬や取扱いの便利さからは、多い方が望ましい。一般には、内径 3.0m 程度までの小口径トンネルでは5分割、それ以上では、必要に応じて6～8分割程度となる。なお、セグメント本体部をP P C構造、継手部をフルプレストレス構造として設計する場合、曲げモーメントがピークとなる上下左右の位置からセグメント継手を避けるために、図 7.4-1 のような分割とすることもある。

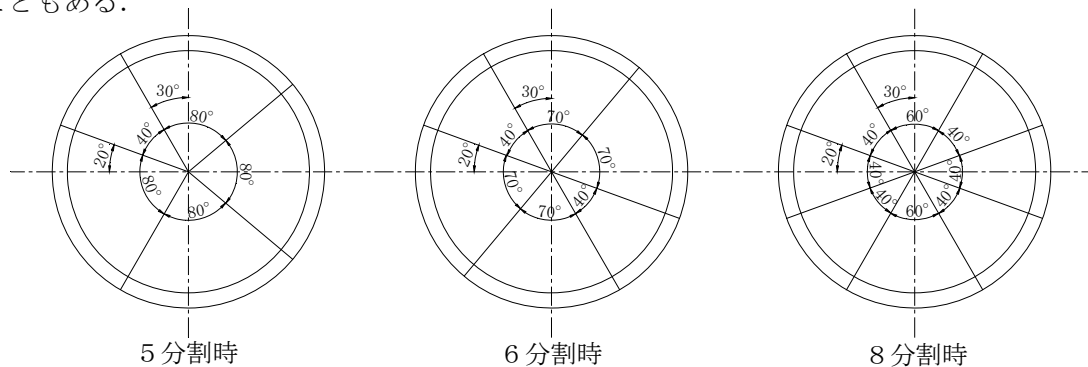


図 7.4-1 セグメント分割例

7.4.4 Kセグメントの形状

Kセグメントの形状は、標準コンクリート系セグメントと同様に、継手角度を小さくし、継手面を滑動させる軸力の成分を小さくさせる必要がある。

【解説】

Kセグメントの形状は、基本的には軸方向挿入型とするが、半径方向挿入型であってもその挿入角度を考慮することで滑動を防止することは可能である。挿入角度を算定する際には、以下の式を用いて継手面に作用するせん断力に対する滑動の検討を行う。

$$Q_0 = (N + P)(\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) - F_s \cdot Q(\cos \alpha + f \cdot \sin \alpha)$$

ここに、 Q_0 ：設計せん断力 (kN)

N ：軸力 (kN)

P ：プレストレス (kN)

α ：継手角度(°)

f ：静止摩擦係数(=0.4)

F_s ：安全率

Q ：せん断力 (kN)

上式において、設計せん断力 Q_0 が負であれば滑動に対して安全であり、正であれば滑動するということになる。ここで、静止摩擦係数は試験結果から0.4と定め、安全率は、安全側の設定として、土水圧によるせん断力に対しては2.5、裏込め注入圧によるせん断力に対してはKセグメントに直接作用するものとしたため、また、一時荷重であることから1.2とした。

滑動すると判定される場合は、継手間へのピンの挿入、リング間せん断キーの設置等の措置を講じる。なお、静止摩擦係数は試験結果から最小値として0.4と定めた。特に新しい形状のものをを用いる場合は、摩擦係数を確認することが望ましい。

7.4.5 横断面方向の緊張箇所数

横断面方向の緊張箇所数は、緊張力が有効に導入されるように決定する。

【解説】

リング一周当たりの緊張箇所数は、緊張力の摩擦ロス、セッロス（定着時のずれによるロス）の検討を行なった上で、緊張力を有効に導入できるように決定する。アンボンドPC鋼より線の場合、シースとの間の摩擦係数は極めて小さいため、内径2.0mのトンネルについて緊張計算を行うと、摩擦ロスよりもセッロスの影響が大きくなり、一周当たり1箇所の片引き緊張が可能となる。また摩擦ロスとしては、長さに関するロスよりも角度変化によるロスの割合が極めて小さいため、内径が大きくなっても同じ傾向となる。

7.4.6 定着

緊張材の定着は、以下の項目について定める。

- (1) 定着具
- (2) 定着部セグメントの形状

【解説】

(1) について

定着具としては、長方形の支圧板+グリップを緊張側，固定側に各1組セットし，それぞれ切り欠き部コンクリート部材を反力とする方式（支圧板+グリップ方式）と，緊張側と固定側が一体となった鋳鉄制定着具（Xアンカー）をP&P Cセグメントにあらかじめ埋め込んでおく方式（Xアンカー方式）とがある．写真7.4-1に支圧板+グリップ方式の例，写真7.4-2にXアンカーの例を示す．



写真 7.4-1 支圧板+グリップ方式の例

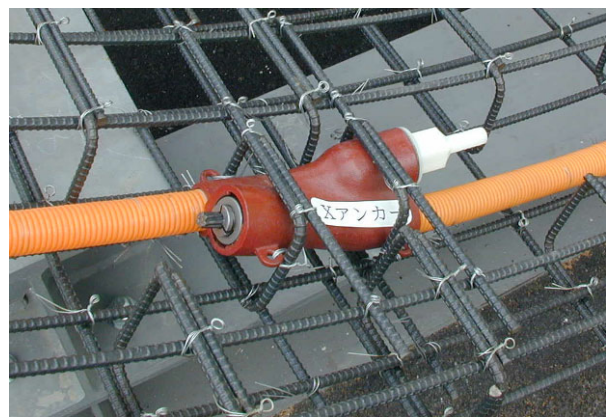


写真 7.4-2 Xアンカーの例

(2) について

P&P Cセグメントは，定着部セグメントに設けた切り欠きの中でくさび定着する．この切り欠きの形状は，定着具が所定のかぶりをとれること，Rチェアがおさまることより幅と深さを決定する．緊張完了後は無収縮モルタル等を充填する．また，洞道等でトンネル内空側に突起を設けても支障ない場合は，切り欠きを設けない方式（内側に突起を付けた方式）も考えられる．図7.4-2に定着方式と定着部セグメントの形状例を示す．

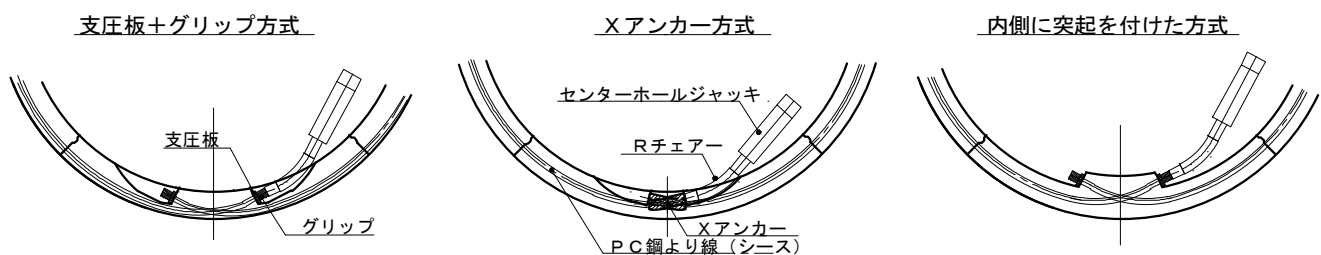


図 7.4-2 定着方式と定着部セグメントの形状例

7.4.7 防水

防水は、トンネルの機能を損なわないように適切な防水工を施す。

【解説】

セグメント間、リング間ともに止水性を高めるため、シール材を貼り付ける。この際、セグメント間については、シール材の存在により継手の剛性が低下することのないようにシール溝を設け、シール材としては、比較的硬度の低いものを用いる。また、シール材の厚さは、同上の理由により、シール溝の深さと同じ厚さのものを用いる。リング間については、プレストレスが導入されるセグメント間に比べると目開きを起こしやすいため、水膨張性のシール材を使用し、ジャッキ推力を均等に伝達するため、2段貼り付けるのが望ましい。なお、耐震検討や地盤沈下時検討を行う場合、各部材の応力度照査を行うとともに、リング間の目開き量がシール材で対応可能なものか、あるいは止水が修復可能な範囲内であるか（耐震検討レベル2）を検討する必要がある。

また、セグメント間のシース接続部には、円形の溝内にリングパッキンを貼ることにより、シース内グラウト材の漏出を防止する。写真7.4-3にシール材貼り付け例を示す。



写真 7.4-3 シール材貼り付け例

7.4.8 注入孔と吊り手

P&P Cセグメントの注入孔および吊り手は、コンクリート系標準セグメントに準拠して設ける。

【解説】

注入孔は、内径 50mm 程度の鋼管製ソケットを各セグメントに埋め込み、周囲をアンカー筋で補強する。小口径の場合は、吊り手としても使用する。

7.4.9 テーパーリング

曲線施工や、蛇行修正用には、必要なテーパー量を有したテーパーリングを使用する。

【解説】

テーパーリングは、コンクリート系標準セグメントに準拠し、最大テーパー量 80～90mm、セグメント最小幅 750mm として、テーパー量の少ない場合は、片テーパー形、大きい場合は、両テーパー形を基本とする。

II 施 工

1. 適用範囲

本編は、P & P Cセグメントを用いたシールド施工の標準を示すものである。

なお、細部については、責任技術者の判断にゆだねるものとする。

【解説】

P & P Cセグメントの施工にあたっては、土木学会「トンネル標準示方書シールド工法・同解説」等に準拠する。

2. 運搬および貯蔵

1) セグメントの取扱い、運搬および貯蔵にあたっては、破損しないように注意しなければならない。

2) P C鋼より線の貯蔵にあたっては、有害な腐食、傷、変形等を受けないように注意しなければならない。

【解説】

1) セグメントの積込み、運搬および荷下ろしの際には、特に隅角部を損傷しないように十分注意する必要がある。

貯蔵にあたっては、セグメントの自重による置場の不等沈下又は台木の変形等、異常のないように注意して貯蔵場所や方法を選ぶ必要がある。セグメントにシール材が貼付されている場合には、シール材を損傷しないよう注意する必要がある。また、貯蔵および運搬中にシース内に水が侵入しないように適切な処置を施さなければならない。

2) P C鋼より線は、直接地上に置くことを避け、倉庫内に貯蔵するか、屋外で貯蔵する場合は適当な枠の上に置き適切な覆いを施すなどして、油、塩分、ごみ等の付着を防ぎ、有害な腐食、傷、変形等を受けないようにしなければならない。

コイル状に巻いて貯蔵するP C鋼より線を縦に何段にも積み重ねて貯蔵すると、上からの荷重によって有害な曲げがかかることがあるので、段数を制限するなどの処置を講じなければならない。また、巻きぐせをつけないために、コイル巻きの直径をより線の直径の150倍以上とすることが望ましい。

3. シール工

シール材の貼付は、シール溝を十分清掃し、シール材にたるみやよじれが生じないように入念に行う。

【解説】

P&P Cセグメントは内面が平滑であること、内面に露出する鋼製部分がほとんどなく防錆面で優れていること等から二次覆工を省略することができる。このため、シール工においては、施工条件等を踏まえ、適切な材料および形状を選定する必要がある。

セグメント間及びリング間のシーす接続部には、リングパッキン等を貼ることにより、シーす内グラウト材の漏出を防止する。

写真 3-1 にシール材貼り付け例を示す。

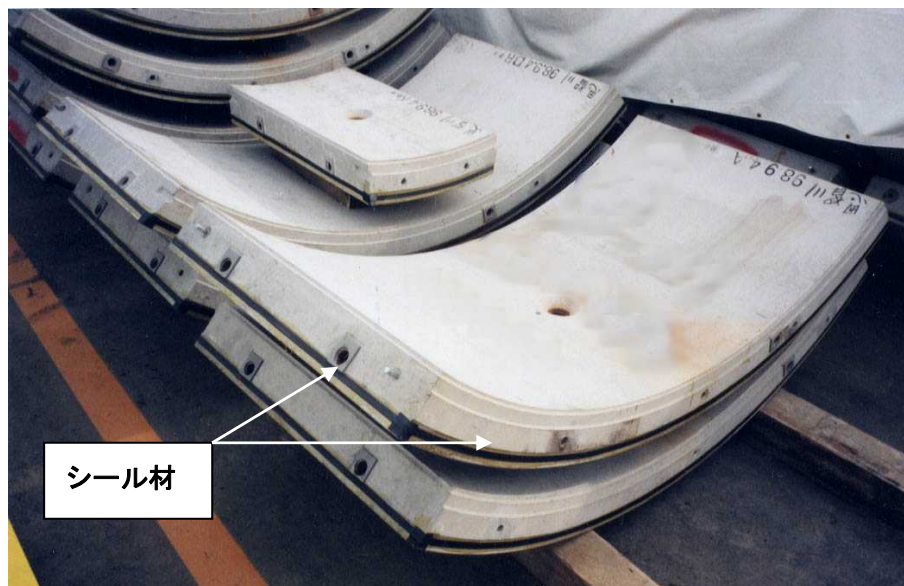


写真 3-1 シール材貼り付け例

4. 覆工手順

4.1 覆工手順の概要

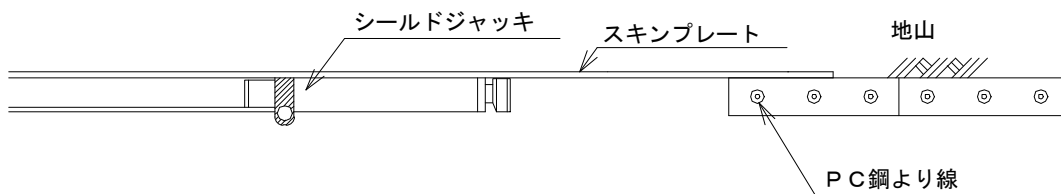
覆工手順は従来の標準コンクリート系セグメントの方式と基本的に同様である。

【解説】

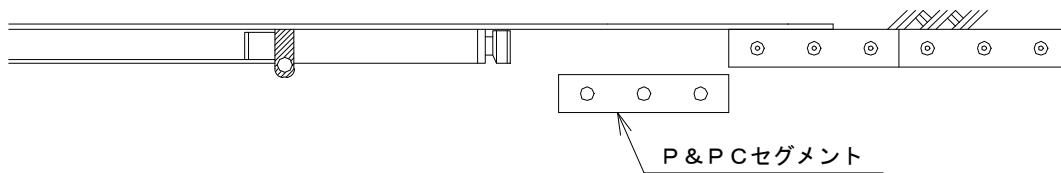
P&P Cセグメントを用いた覆工の施工手順は、従来の標準コンクリート系セグメントの方式と基本的に同様であり、セグメントの組立方法が少々異なる程度である。

P&P Cセグメントの覆工手順を図 4.1-1 に示す。

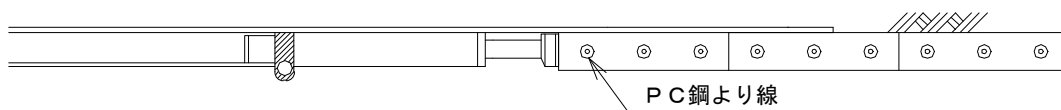
①シールドジャッキ解放



②P & P Cセグメント組立



③P C鋼材挿入、緊張



④シールド機掘進

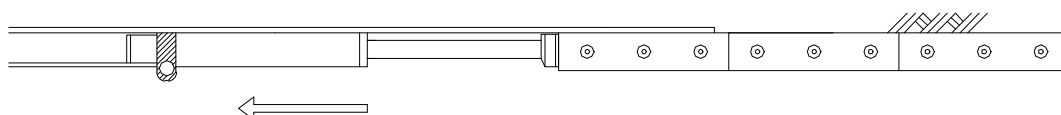


図 4.1-1 P & P Cセグメントの覆工手順

4.2 セグメントの組立

シールド掘進完了後、シールドテール部において、エレクターによりセグメントを組み立てる。

【解説】

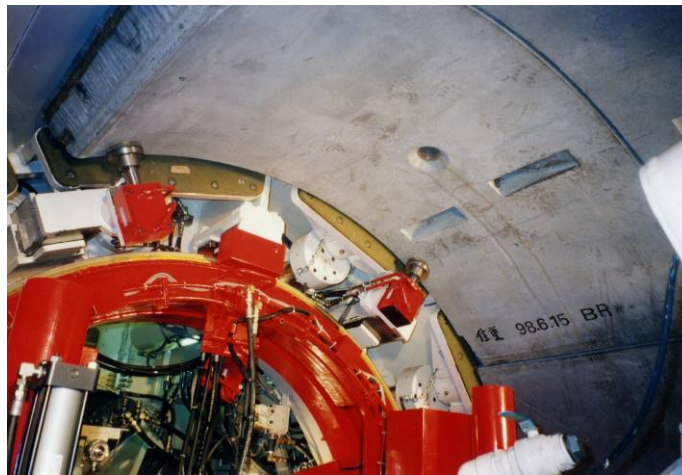
セグメントの組立は、工場で製作された P&P C セグメントを立坑内に搬入後、専用台車に搭載して坑内に搬入し、標準コンクリート系セグメントと同様にシールドテール部においてエレクターにより行う。エレクターによりセグメントを所定の位置に設置し、リング間のほぞを利用して、シールドジャッキにより直前の既設リングに押しつけ固定することによって、下方のセグメントから順次組み立て、最後に K セグメントを組み立てる。

セグメントの組立は、覆工の仕上がり精度および P C 鋼より線の挿入の容易さに直接影響を及ぼすので、所定の位置に正確に組み立てられているか確認すると同時に、組上がり状態が良好であることを確認しなければならない。また、リング間およびセグメント間に貼付された止水シールが組立時に破損しないように留意する必要がある。

P&P C セグメント組立状況を写真 4.2-1 に示す。



Aセグメント組立



Bセグメント組立



Kセグメント組立

写真 4.2-1 P&PCセグメント組立状況

4.3 P C鋼より線の挿入・緊張工

組立完了後、セグメントのシース内にP C鋼より線を挿入し、センターホールジャッキにより緊張・定着する。

【解説】

組立完了後、P&P Cセグメントのシース内に、P C鋼より線を人力により挿入する。センターホールジャッキの先端にRチェアを取り付け、緊張方向を内側に変え、セグメント間を緊張・定着する。リング間を緊張する場合は、同様な方法でセグメント間の緊張・定着終了後に行う。

P C鋼より線の品質を確認するため、使用する前に表 4.3-1 により試験を行う必要がある。但し、J I S規格に適合するP C鋼より線は品質が保証されているため、表 4.3-2 の外観検査により、有害な腐食、傷、汚れ及び変形を受けていないことが判明している場合には試験を省略できる。なお、入荷時に良好な状態であっても、現場における長時間の貯蔵のため腐食や変形が生じたものは、試験によって品質を確認する必要がある。

P C鋼より線の挿入、緊張状況を写真 4.3-1～4.3-5 に示す。

表 4.3-1 P C鋼より線の品質管理および検査項目

種 類	項 目	試験・検査方法	時期・回数
P C鋼より線	JISG3536 の品質項目	製造会社の試験成績表による確認または JISG3536 の方法	工事開始前および工事中 1 回/月以上
JIS 以外の P C鋼より線	必要とする項目	製造会社の試験成績表による確認または JISG3536, JISG3109, JISG3137 等に準じた方法	工事開始前および工事中 1 回/月以上

表 4.3-2 P C鋼より線の外観検査

項 目	検査方法	判定基準
表面の状態	目視	P C鋼より線表面に有害な腐食、よごれ、傷がないこと、および全体的に有害な変形が認められないこと



写真 4. 3-1 P C 鋼より線の挿入状況

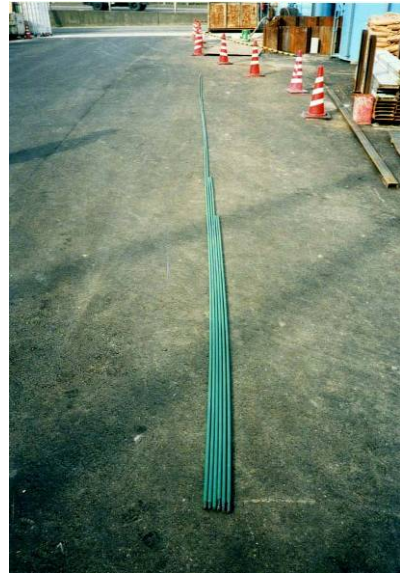


写真 4. 3-2 アンボンド P C 鋼より線

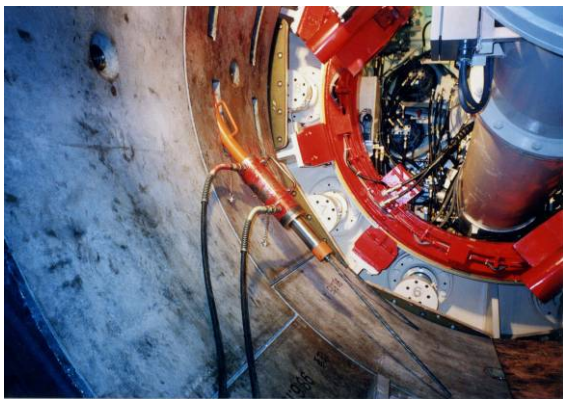


写真 4. 3-3 横断面方向緊張状況

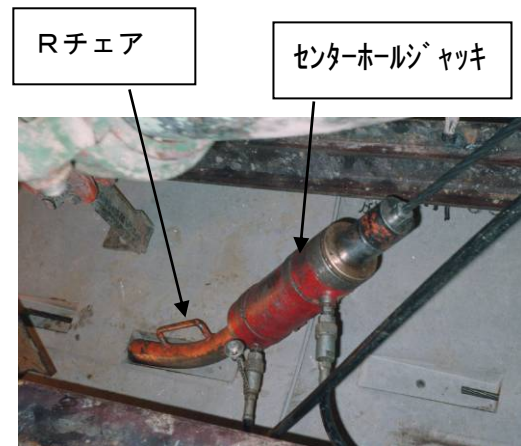


写真 4. 3-4 縦断方向緊張状況



写真 4. 3-5 P C 鋼より線の定着状況

4.4 PCグラウト工および跡埋め充填工

PC鋼より線の緊張・定着完了後、シースと挿入したPC鋼より線との間隙にグラウト材を注入し、定着部である切欠きに無収縮モルタルを充填する。

【解説】

PC鋼より線を緊張・定着した後、PC鋼より線を挿入したシース内にPCグラウトを注入する。注入は、排出口から一様なコンシステンシーのグラウトが十分流出するまで中断しないで連続して行う。注入後、PC鋼より線が定着されている切欠き部に接着剤を塗布し、無収縮モルタルを充填する。但し、二次覆工を行う場合はこれを省略する。なお、注入作業及び充填作業は掘進から緊張工までのサイクルとは別工程で行うことができる。

PCグラウトは、緊張体及び定着体を十分に包み、これを錆びないように保護するとともに、付着を必要とする場合には、シースを介して部材コンクリートと緊張材とが一体となる品質のものでなければならない。よって、ノンブリーディング型の混和剤を使用したPCグラウトを使用することを原則とする。本工法におけるPCグラウト工では、頂部セグメントでPCグラウトの先流れ現象が生じて未充てん部（残留空気）の発生が生じやすく、特にセグメント内径が大きくなるとその発生が顕著となる。そのため、セグメント内径に応じて、表-4.4-1に示すPCグラウトを使用することを標準とする。表4.4-2にそれぞれの標準配合と品質管理基準の例を示す。

表 4.4-1 セグメントの外径とPCグラウトの種類

セグメント外径	PCグラウトの種類
4,500mm 以下	ノンブリーディング高粘性型 または ノンブリーディング高チクソ型
4,500mm 超	ノンブリーディング高チクソ型

表 4.4-2 PCグラウトの標準配合および品質管理基準例

種類	標準配合				品質管理基準			
	水 セメント 比	単位量(kg/m ³)			流動性	ブリーディング率	圧縮強度	塩化物含有量
		セメント	水	混和剤				
高チクソ型	40%	1351 (BB)	540.4	54.04	JASS フロー 60～ 80mm	0%	30N/mm ² 以上	普通ポルトランドセメントを使用した場合：C×0.08 質量%以下 それ以外のセメントを使用した場合：0.3kg/m ³ 以下
高粘性型	42.5 %	1349 (普通)	573	13.49	JP 漏斗 流下時間 14～23 秒			

5. P C鋼より線の緊張管理

P C鋼より線の緊張は、構築された覆工体がP C構造として所要の品質を確保するため、セグメントに所定の緊張力が導入されるようにこれを管理しなければならない。

【解説】

P C鋼より線の緊張管理例を以下に示す。

(1)緊張装置のキャリブレーション

緊張装置の圧力計を使用する前に双針式標準圧力計、またはダイナモメータ等を用いてキャリブレーションを行う。また使用中も衝撃を与えた場合には、キャリブレーションを再度行う。

圧力計示度と実際の緊張力との誤差の主因は①圧力計自信の誤差によるもの、②ジャッキの機械的損傷によるもの、の2つが考えられるが、よほどの特殊事故による場合以外は②の変動はほとんどないので、主として①を対象にキャリブレーションを行えば十分である。ただし、ジャッキの機械的な故障による内部摩擦損失の増大もありうるので、定期的にダイナモメータ等を用いて直接引張力を調べるのが望ましい。

(2)摩擦係数と緊張材の見掛けのヤング係数の測定

①緊張装置の内部摩擦損失

緊張装置についている圧力計の示度は、その装置およびRチェアの内部摩擦あるいはP C鋼より線と定着具との間の摩擦のため、鋼材自身の緊張力を示すものではない。従って、事前にこの内部摩擦損失を求めておく必要がある。

内部摩擦損失の測定は、ジャッキ、Rチェア、定着具にP C鋼より線を通し、その前後の緊張力をダイナモメータ等で測定することにより得られる。

②P C鋼より線とシースとの間の摩擦損失

ジャッキ端で計測するP C鋼より線の引張力は、ジャッキ端より離れるに従い、P C鋼より線とシースとの摩擦により減少する。アンボンドP C鋼より線の場合の設計では、一般に摩擦係数を $\mu=0.06(1/\text{rad})$ 、 $\lambda=0.002(1/\text{m})$ と仮定して摩擦損失を求めているが、実際の量とは異なることがある上に、この摩擦係数がプレストレスの大きさに与える影響が極めて大きいので、現場において試験を行い、設計値を補正する必要がある。

③緊張材の見掛けのヤング係数

緊張作業の際に、緊張材の抜け出し量から求めた見掛けのヤング係数は、緊張材の弾性伸びだけでなく、部材の短縮やシースの変形による緊張材の鉛直方向の移動なども影響するため、P C鋼より線の材料試験から求められるヤング係数に比べかなり低い値となる。このため、緊張管理には抜け出し量から求めた見掛けのヤング係数を使用しなければならない。

(3)定着時のセットロス

定着具にくさびをセットして、ジャッキの圧力をゆるめた際、P C鋼より線はくさびと共にP C鋼より線の引張力によって、わずかに引きずり込まれ、P C鋼より線の緊張力を減少させる。これをセットロスと呼ぶ。定着時のセットロスは、定着具ごと定めた標準値を設計に用いている。

従って、導入緊張力の許容限界内に入る許容セット量を決めておき、定着の際にこの値を超えた場合には、緊張作業をやり直す必要がある。

(4)緊張材引止め点の管理

緊張材引止め点の管理は、荷重計の示度とP C鋼より線の伸びを独立して管理する手法による。管理方法および手順は、以下となる。

①前項で求めた、摩擦係数および見掛けのヤング係数を用いて、設計断面に所定の引張力が与えられるように緊張端引張力およびP C鋼より線の伸びを計算する。

②緊張作業にあたって引止め点を決定するには、計算による荷重計の示度 (P_0) および伸び (Δl_0) のいずれも不足しないようにする必要がある。すなわち、図 5-1 に示す点A (座標 $P_0, \Delta l_0$) を計算で求め、緊張作業にあたっては、伸びと荷重計示度が図 5-1 のハッチした範囲に達したならば引止めとする。このように、荷重計示度および伸びの両者ともに計算値より小さくならない点まで緊張しておけば、プレストレスが不足する確率は小さくできる。なお、この場合、P C鋼より線 1 本ごとのほかに、グループごとの管理を行う必要があり、それぞれの許容誤差は、表 5-1 による。

③緊張作業を続ける中で、1 本ごとの許容誤差 (10%) を超えた場合には、作業をやり直す。また、やり直してもおさまらない場合には、ジャッキのキャリブレーションを行い、原因を調べる。なお、次のP C鋼より線も同様の誤差を生じる場合は、摩擦係数および見掛けのヤング係数の測定もやり直す必要がある。

表 5-1 荷重計の示度から推定される引張力と伸びから推定される引張力の差の

許容誤差の標準値

1 組を構成する P C 鋼より線本数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 以上
許容誤差の標準値 (%)	10	7.1	5.8	5	4.5	4.1	3.8	3.5	3.3	3.2

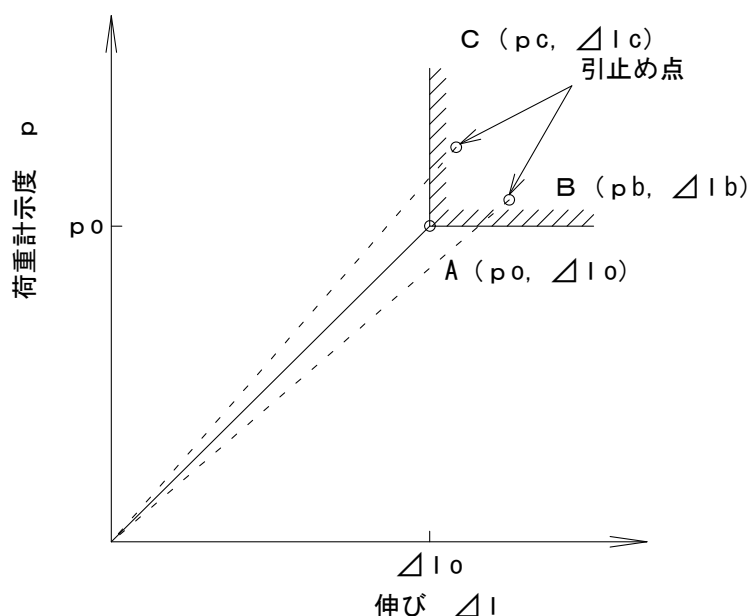


図 5-1 緊張作業管理図

6. 曲線施工および蛇行修正

曲線施工を行う場合は、地山の条件を考慮し、確実な施工が行えるよう十分な対策をたてなければならない。また、蛇行修正に対しては、速やかに方向修正を行わなければならない。

【解説】

曲線施工においては、地山の条件、トンネル線形、セグメント外形、P&P Cセグメントの構造特性等を考慮し、テーパリングの形状を決定する。曲線施工の条件は、標準コンクリート系セグメントと同様である。なお、曲線半径が小さく、P&P Cセグメントが適用できない場合は、鋼製セグメントを使用するものとする。

蛇行修正においては、テーパリングを使用して、速やかに修正することを基本とする。

7. シールド機

シールド機の掘削機構、推進機構、組立機構は「トンネル標準示方書シールド工法・同解説」に示される内容を基本とする。

【解説】

P&P Cセグメントで使用するシールドは、標準コンクリート系セグメント等に用いられる通常のシールドと同様の掘削機構、推進機構を有し、シールドテール部でエレクターによってセグメントを組み立てる構造とする。

1)掘削機構：掘削機構の選定にあたっては、シールド形式、カッタヘッド形式・支持方式、カッタ装備トルク、カッタスリット、カッタビット、装備推力等について、またそれらの組合せについても十分配慮し決定する。

2)推進機構：シールドジャッキの選定にあたり、シールドジャッキ1本当りの推力と本数は、シールド外径、総推力およびトンネル線形等を考慮して決定する。ジャッキストロークは、セグメント幅に所要の余裕を加えて決定する。

3)組立機構：エレクターは、シールド形式と規模、セグメント重量、掘削土処理の方法、作業サイクル等を考慮し、セグメントの組立が正確かつ能率的にできるものを選定する。

8. PC鋼より線の緊張機器

PC鋼より線の緊張に使用する機器は、鋼材の径、緊張力等を考慮して選定しなければならない。

【解説】

PC鋼より線の緊張に使用する機器は、Rチェア、センターホールジャッキ、油圧ポンプであり、通常のPC工と同様である。

鋼材に導入する緊張力、鋼材の径等を考慮して、緊張機器を選定しなければならない。写真 8-1 に緊張機器を示す。



R チェアとセンターホールジャッキ



油圧ポンプ

写真 8-1 緊張機器

9. PCグラウト用器具

PCグラウトの注入に使用する器具は、「PCグラウトの設計施工指針-改訂版-」に規定される機能を有するものでなければならない。

【解説】

P&PCセグメントの施工において使用されるPCグラウト用器具は、グラウトミキサとグラウトポンプであり、通常のPC工と同様のものである。

PCグラウト用器具は、以下に示す「コンクリート標準示方書（施工編）」に規定される機能を有するものでなければならない。

- 1)グラウトミキサは、5分以内にグラウトを十分練混ぜることのできるものでなければならない。また、注入作業を中断しないで続けられるような、十分な容量を有するものでなければならない。
- 2)アジテータは、PCグラウトを緩やかに攪拌するものでなければならない。なお、多量のグラウトを練混ぜた場合でも、グラウトミキサで緩やかな攪拌に移ることができる場合、注入が短時間で完了する場合等においては、アジテータを備えなくてもよい。
- 3)グラウトポンプは、PCグラウトを徐々に、また、空気が混入しないように注入できるものでなければならない。

写真 9-1 にグラウトポンプとグラウトミキサを示す。

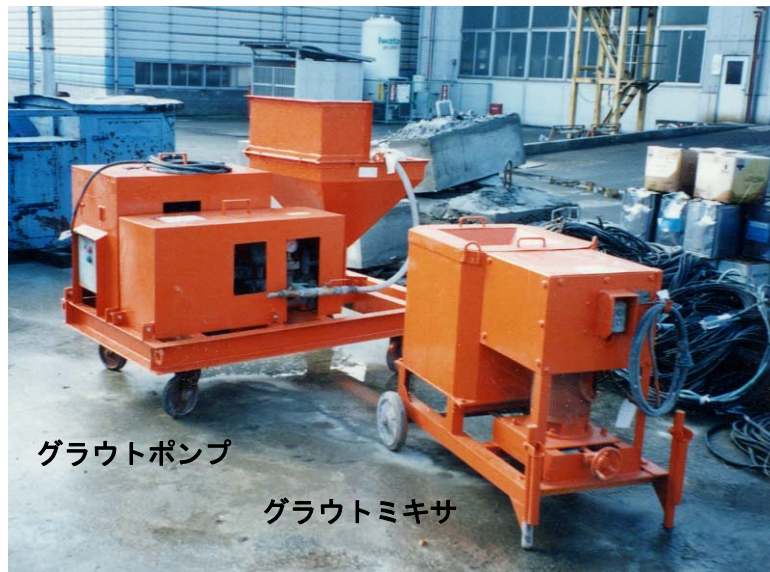


写真 9-1 グラウトポンプおよびミキサ

III 製 作

1. 適用範囲

本編は、P&P Cセグメントの製作についての標準を示すものである。なお、細部については責任技術者の判断によるものとする。

【解説】

P&P Cセグメントの製作にあたっては、J I Sおよび関連する示方書、土木学会「トンネル標準示方書シールド工法・同解説」、土木学会「コンクリート標準示方書」、土木学会・日本下水道協会「シールド工事用標準セグメント」、日本道路協会「道路橋示方書・同解説」等に準拠する。

2. P&P Cセグメントの製作

2.1 一般事項

- (1) P&P Cセグメントの製作者は、製作要領書、製作図および製作工程を作成し、あらかじめ責任技術者に提出して承認を得なければならない。
- (2) P&P Cセグメントの製作にあたっては、特に寸法精度に留意しなければならない。

【解説】

(1) 製作要領書には、JISおよび関連する示方書、「トンネル標準示方書シールド工法・同解説」、「コンクリート標準示方書」、「シールド工事用標準セグメント」、「道路橋示方書・同解説」等に準拠してP&P Cセグメントの材料、製造、検査等に関する必要事項をもれなく記載するものとする。

また、製作工程表は、製作工程の全容が用意に把握できるようにまとめる必要がある。責任技術者は、提出された製作要領書、製作図、および製作工程表について十分検討し、疑義のないように事前に製作者と協議しなければならない。

(2) 寸法精度は、型枠の精度に支配されることが多いので、型枠の製作精度についても十分留意する。

2.2 製作要領書

P&P Cセグメントを製作するにあたっては、その詳細を製作要領書に記載しなければならない。

【解説】

P&P Cセグメントを製作するにあたって、特に注意すべき点および製作要領書に記載する事項の大要は、次のとおりである。

製作要領書に記載する細目は、材料の明細（セメント、骨材、副材料）、型枠、コンクリートの配合、製造法（鋼材の加工組立て、締固め方法、養生方法等）、検査および記号等である。

2.3 P&P Cセグメントの寸法精度

P&P Cセグメントの寸法許容については，責任技術者の指示に従うものとする。

【解説】

P&P Cセグメントの寸法精度の許容差を例示すれば，トンネル標準示方書シールド工法・同解説では表 2.3-1 のようになる。

寸法の計測には，ゲージ板，鋼尺および鋼巻尺等を用いる。

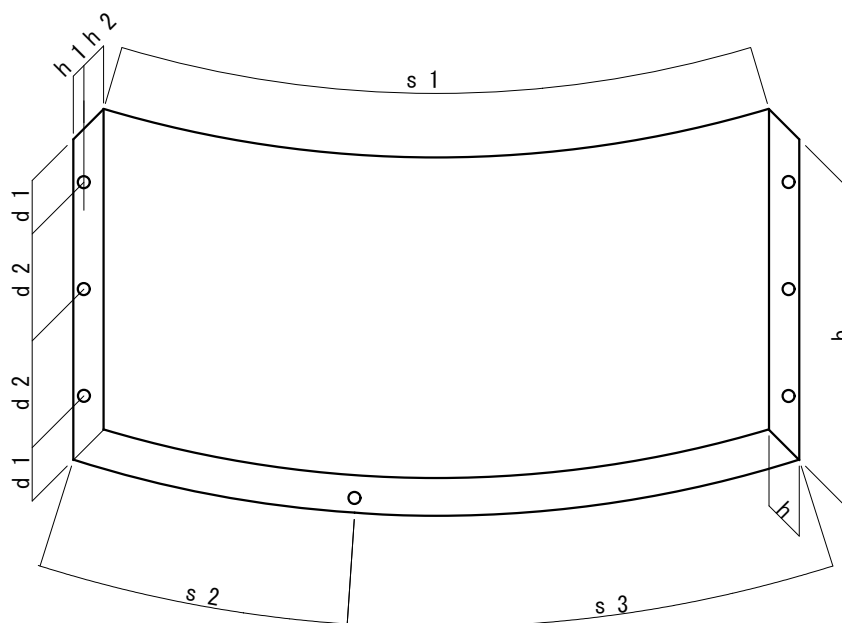


図 2.3-1 寸法計測位置（例）

表 2.3-1 寸法許容差（例）

項 目		寸法の誤差
部 材 厚	h	+ 5.0， - 1.0 (mm)
部 材 幅	b	+ 1.0， - 1.0 (mm)
弧 長	s 1， s 2， s 3	+ 1.0， - 1.0 (mm)
シース孔位置	h 1， h 2， d 1， d 2	+ 1.0， - 1.0 (mm)
ピース間側面の直角度	R	1 0 分以内
水平板組時の真円度	D	内径の 0.1 5 % 以内

2.4 検 査

製作者が品質管理のため行う検査の主な項目は、次のとおりである。

- (1) 材料検査
- (2) 外観検査
- (3) 形状寸法検査
- (4) 仮組検査
- (5) 性能検査
- (6) その他の検査

【解説】

P&P Cセグメントの製造過程における検査項目の例は次のとおりである。

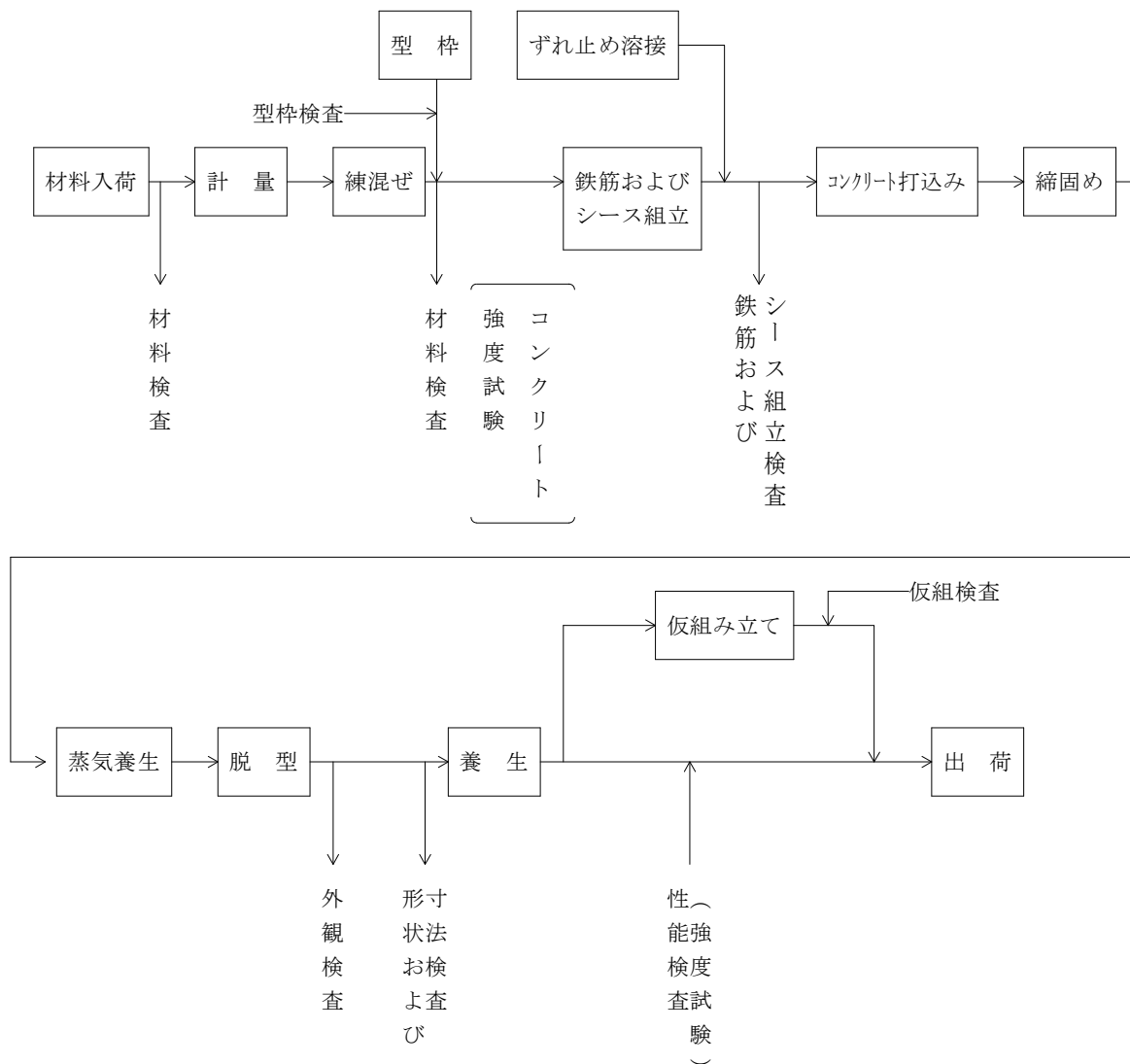


図 2.4-1 P&P Cセグメントの検査（例）

3. 使用材料

P&P Cセグメントの製造に使用する主要材料は、トンネル標準示方書他の規定に適合するものとする。

【解説】

主要材料は、表 3-1 の規格および規定に適合するものとする。

表 3-1 P&P Cセグメント用材料の規格および規定

セメント	JIS R 5210	普通ポルトランドセメント
骨 材	JIS A 5005	コンクリート用砕石及び砕砂
水		コンクリートに有害な物質を含まないこと
混 和 剤	JIS A 6204	コンクリート用化学混和剤
鉄 筋	JIS G 3112	鉄筋コンクリート用棒鋼
鋼 板	JIS G 3101 JIS G 3106	一般構造用圧延鋼材 溶接構造用圧延鋼材
鋼 材 (形 鋼)	JIS G 3101 JIS G 3106	一般構造用圧延鋼材 溶接構造用圧延鋼材
溶接材料	JIS G 3211 JIS G 3212 JIS G 3312	軟鋼用被覆アーク溶接棒 高長力鋼用被覆アーク溶接棒 軟鋼および高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ
鋼 管	JIS G 3444 JIS G 3445	一般構造用炭素鋼鋼管 機械構造用炭素鋼鋼管
注入孔栓 エレクトー孔栓用 Oリング	JIS B 2401	A B S樹脂製品 「Oリング」 1種A

上表以外の材料を使用する場合は、責任技術者の判断によるものとする。

4. 製 造

4.1 コンクリートの強度および配合

P&P Cセグメントに使用するコンクリートは、所用の強度、耐久性、水密性等を有し、品質のばらつきが少なく、打設作業が容易なワーカビリティを有する配合とする。

【解説】

配合強度は、ばらつきの程度に応じ、設計基準強度に適切な割増係数を乗じて定める。

コンクリートの配合設計は、製作工場の実績によって定まる変動係数等を加味し、所定の品質、ワーカビリティが得られる配合とする。

硬化コンクリートの品質は、コンクリート標準示方書等に定められている確率で設計基準強度を下回ってはならない。

管理については、試験結果を記録し、保管しなければならない。

示方配合は、製作要領書に記載する。

4.2 フレッシュコンクリートの製造

安定したコンクリートが製造できる設備を有している工場で、材料のストック、計量、練り混ぜを行う。

【解説】

(1) 材料の貯蔵

セメントは、サイロに保管し、骨材は、粗骨材と細骨材とにわけて骨材貯蔵場に貯蔵する。

(2) 材料の計量

コンクリート用材料は、原則として質量で計量する。ただし、水および混和剤は、容積によって計量してもよい。

(3) 練混ぜ

工場内バッチャープラントで練り混ぜ、適切な材料の投入順序と練混ぜ時間で十分に練り混ぜなければならない。

4.3 型 枠

繰り返しの使用ができ、打設設備、打設方法、養生方法により支障が生じないものとする。

【解説】

P&P Cセグメントの製作に使用する型枠は、堅固で取り扱いによるひずみや凹凸が生じることのない鋼製とする。また、使用中に変形や各締結・締付部分等がゆるまないようなものを選定し、脱型時の取り扱いが容易なものとする。写真 4.3-1 に鋼製型枠例を示す。



写真 4.3-1 鋼製型枠

4.4 鋼材の加工および組立

鋼材は、設計図に準じ、冷間で加工および組立を行う。また、組立てられた鋼材は打設時に変形、移動が生じないよう溶接等によって固定するものとする。

【解説】

鋼材は清掃したものを加工する。また、浮き錆、油分、ゴミ等の付着がある場合は、除去してから加工する。

主要鋼材の移動は、P&P Cセグメントの強度に悪影響を与える。このため鋼材は正確に加工し、設計図に基づき正確に配置し、堅固に固定しなければならない。

加工は冷間加工とし、溶接により組立を行う場合は、アンダーカット等に注意する。また、溶接箇所は急冷しないように注意する。

組立られた鋼材の積み置き、移動、つり込み等は変形のないよう慎重に行う。

4.5 鋼材および埋込部材の固定

型枠は清掃後はく離材を塗布する。型枠内に組み立てた鋼材は、所定のかぶりが確保できるようにスペーサー等で固定する。またXアンカーおよびシースなどの埋込部材は、結束線や補助支持材を用いコンクリート打設圧で移動が生じないよう堅固に固定する。

【解説】

鋼材のかぶりは、セグメントの耐久性はもとより、構造上の性能に直接影響する。したがって設計図に示されたかぶりを確保するため、コンクリート打設時の衝撃に耐え、鋼材を所定の位置に保持できるスペーサーを使用する。Xアンカーおよびシースは構造的に重要である、補助鉄筋などを用いてコンクリート打設圧やバイブレータの振動で移動しないよう堅固に固定する。

写真 4.5-1、2 に鋼材および埋込部材の固定例を示す。



写真 4.5-1 円周方向 X アンカーの固定



写真 4.5-2 軸方向 X アンカーの固定

4.6 コンクリートの打設

練り混ぜたコンクリートは、材料分離がないよう留意して打設する。2回以上にわけて打設する場合は、コールドジョイント等にも注意する。

打設完了後は、所定の前養生時間を取り、表面仕上げを入念に行う。

【解説】

コンクリートの打設は、鋼材、Xアンカー、シースおよび埋込金具等が正確に固定されていることを確認した後、打ち込むものとする。打設時は鋼製押蓋の使用を標準とする。

打設は、材料分離やシール溝等の影響による気泡が生じないように充填性に注意し、欠陥のない平滑なモルタル表面が得られるように行う。写真 4.6-1 にコンクリート打設例を示す。



写真 4.6-1 コンクリート打設

4.7 養生および脱型

脱型強度が得られるまで型枠内で養生を行う。促進養生を行う場合には、長期材令における強度低下等、有害な影響を与えないよう十分注意する必要がある。促進養生の方法については、製作要領書に記載するものとする。

脱型は、テストピースで強度を確認後行ない、損傷を与えないよう十分注意する。

【解説】

促進養生を行う場合には、コンクリートにひび割れ、はく離、および長期材令における強度低下等の有害な影響を与えないように注意する。常圧蒸気養生を行う場合には、以下のとおりとする。

①：蒸気養生は、コンクリートに有害な影響を与えないように注意するものとし、前置き時間を2時間以上確保した後開始する。

②：温度上昇は、 $2.0^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以下の勾配とし、最高温度は、 65°C 以下とする。

③：養生温度は徐々に下げ、外気と大差がないようになってから製品は脱型する。

このほか、養生についてはコンクリート標準示方書（施工編：施工基準）8章に準拠する。

脱型は圧縮強度が 15 N/mm^2 に達した後行うものとし、脱型後の養生は気乾養生を標準とする。水中養生の有無は責任技術者の指示に従う。

脱型は、P&P Cセグメントに損傷を与えないよう慎重に、脱型治具等を用いて行うものとする。製品の重量、形状によって脱型治具が使用できない場合には、吊り用インサート等を打設時に製品に取り付けておくが、ストック中および施工後の腐食を考慮し、その使用にあたっては、責任技術者の承諾をとる必要がある。

写真 4.7-1、2 に実施例を示す。



写真 4.7-1 蒸気養生終了



写真 4.7-2 脱型作業

4.8 記号表示

製作管理上および施工管理上必要な記号は，消滅しない方法で明示するものとする．明示項目は製作要領書に記載する．

【解説】

記号は，製造番号，製造年月日，種別，型別，テーパセグメントの合番号など，製作管理上，施工管理上必要な事項を消えない方法で表記する．その項目および表示位置は，製作要領書中に記載するものとする．

4.9 貯 蔵

検査完了後，合格した製品は，所定の養生期間を満了するまで製作工場で貯蔵するものとする．

【解説】

貯蔵作業および搬出作業時は，カケ等の損傷が発生しやすいため，貯蔵場所や方法に特に留意する必要がある．写真 4.9－1 に貯蔵例を示す．

付属品は，紛失しないように一定の場所に保管しなければならない．



写真 4.9－1 貯蔵例

4.10 運 搬

P&P Cセグメントは，損傷しないように注意して運搬，取扱いしなければならない．運搬および取扱中に損傷を受けた物の処理については，責任技術者の指示に従うものとする．

【解説】

P&P Cセグメントの縁端部が損傷しないよう，積込み，取り降ろし等の取扱いには，十分注意しなければならない．

5. 特殊セグメント

5.1 テーパーセグメント

トンネル線形および施工性を考慮して定められたテーパー量のものを製作する。
テーパーセグメントは、片側テーパーまたは両側テーパーとする。

【解説】

鋼材の最低かぶりは、コンクリート標準示方書（設計編）に準拠する。

5.2 ボルト孔付セグメント

ボルト孔付セグメントは、他種類セグメントとの接合部がある場合、責任技術者の判断により設計図書に準じて製作する。

【解説】

他種類セグメントとの接合部等に使用するボルト孔付セグメントは、その使用目的により、接合面には、必要に応じて継ぎ手金物等を設ける。

脱型時およびハンドリング時には、ボルト孔を使用する場合は損傷しやすいため、入念に注意する必要がある。

6. 強度試験

強度試験は、下記の項目を実施する。

- (1) 単体曲げ試験
- (2) 継手曲げ試験
- (3) 推力試験
- (4) 吊り手金具引抜き試験

各試験の判定基準は、責任技術者が決定する。

【解説】

責任技術者の定める試験頻度で、強度試験を実施する。

実施項目は、図 6-1～6-4 に示すような

- (1) 単体曲げ試験
- (2) 継手曲げ試験
- (3) 推力試験
- (4) 吊り手金具引抜き試験

を標準とする.

- ### (1) 単体曲げ試験

セグメント単体の本体強度を確認するため、製品 1 ピースに曲げモーメントのみ作用させる試験装置にて行う。試験体は図芯位置に P C 鋼より線を挿入し、所定のプレストレス力を導入する。

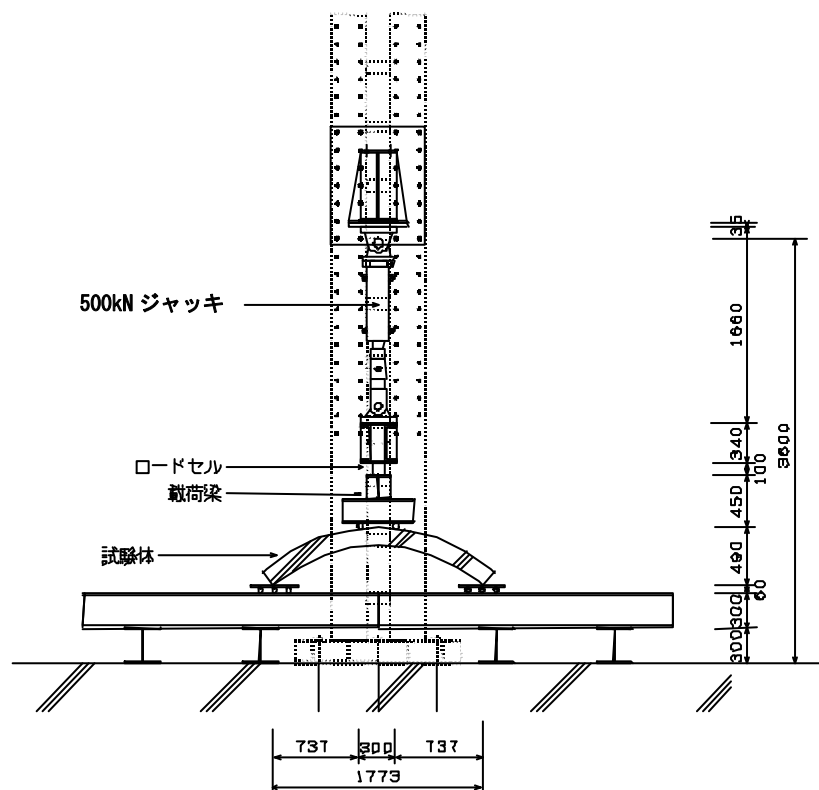


図 6-1 単体曲げ試験 (例)

(2) 継手曲げ試験

継手強度の確認のため、図 6-2 に示すように図芯位置にプレストレスを導入し、設計荷重(P)をローディングビームを介して、継手部に設計曲げモーメントを作動させる。継手曲げ試験は、Aセグメントを2ピース組立てる。

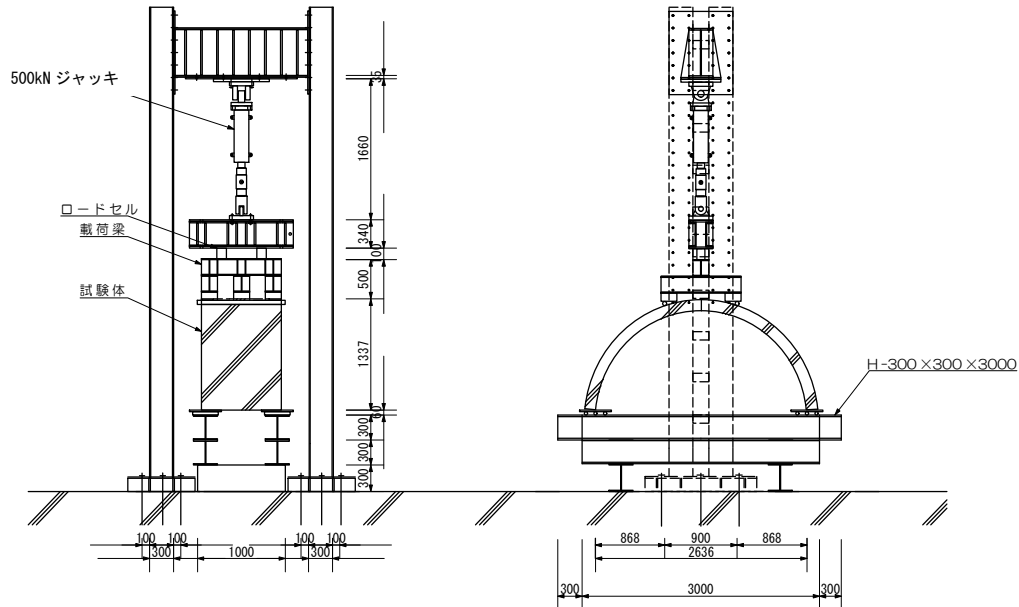


図 6-2 継手曲げ試験 (例)

(3) 推力試験

施工時のシールドジャッキ推力作用時の安全性を確認するため、セグメントに軸力を作用させる。また、シールドマシンのテールクリアランスを考慮し、ジャッキ推力が偏心した状態での荷重が出来る試験装置にて行う。

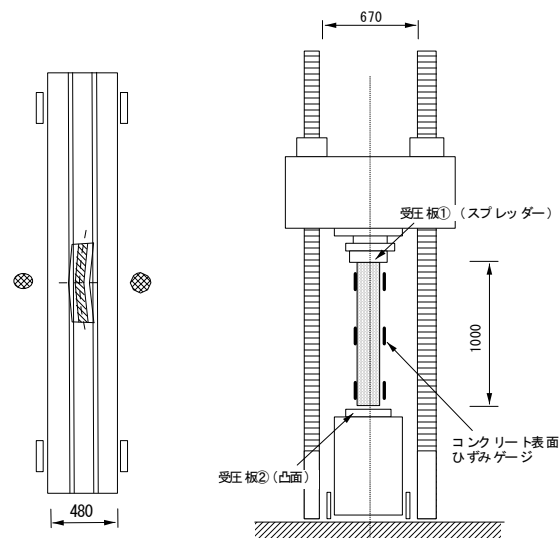


図 6-3 推力試験 (例)

(4) 吊り手金具引抜き試験

セグメント組立時の安全性を確認するため、エレクター孔に引き抜き荷重を与えられる試験装置にて行う。

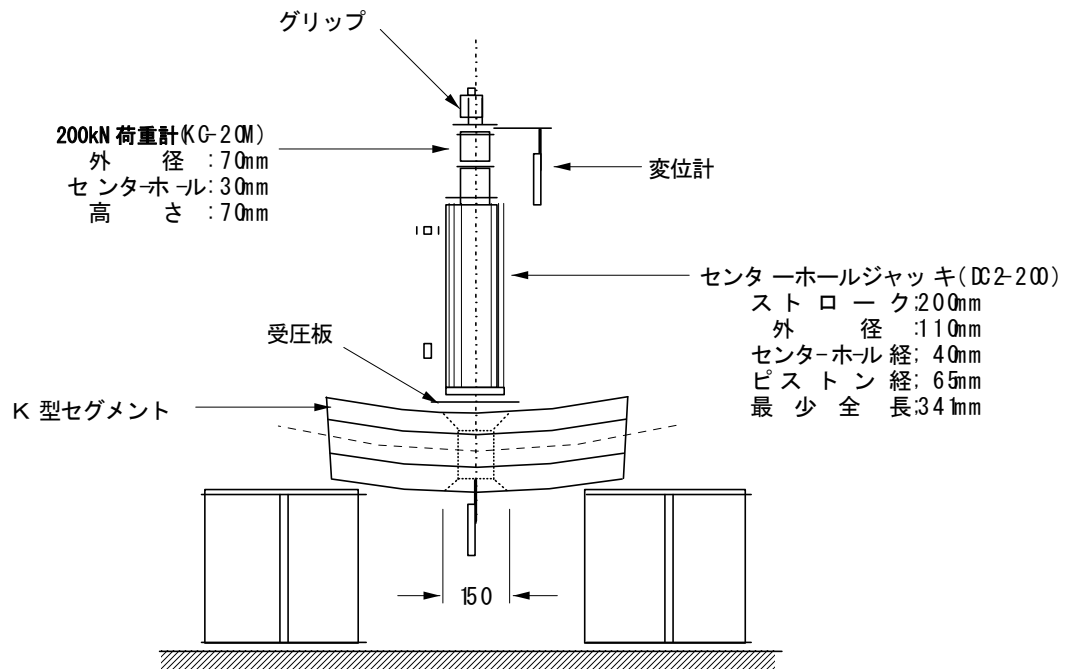


図 6-4 吊り手金具引抜き試験 (例)

各強度試験の方法および判定基準は、責任技術者の判断によって決定し、あらかじめ試験計画書を作成するものとする。

P & P C セグメント工法技術資料

- ・平成 15 年 10 月 発行 第 1 版
- ・平成 18 年 04 月 発行 第 2 版
- ・平成 19 年 06 月 発行 第 3 版
- ・平成 23 年 08 月 発行 第 4 版
- ・令和 2 年 8 月 発行 第 5 版
- ・令和 7 年 2 月 発行 第 6 版

シールド工法技術協会

URL : <https://www.shield-method.gr.jp>