

第12回 定期総会

ツーウェイ推進工法 施工事例発表

施工事例の紹介



呼び径：φ1500mm

工法名：泥濃式ツーウェイ推進工法

推進延長：328.05m

土被り：8.08～6.02m

曲線：R=50+25+30m

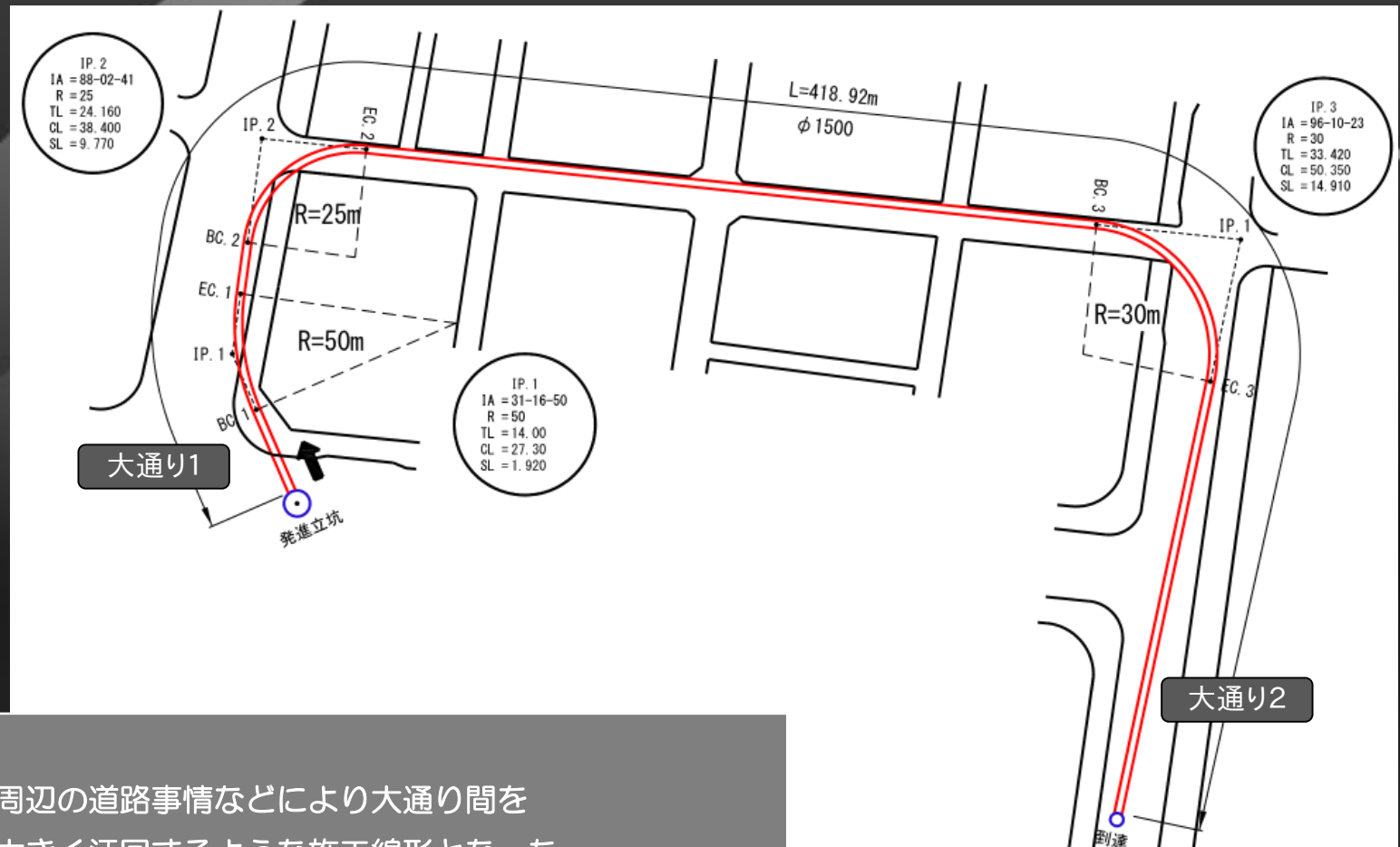
土質：砂 N値 7～15

地下水位：GL－5.5m

発進立坑：φ6000

到達：φ3000mm回収施工
(計画時)

計画された施工線形

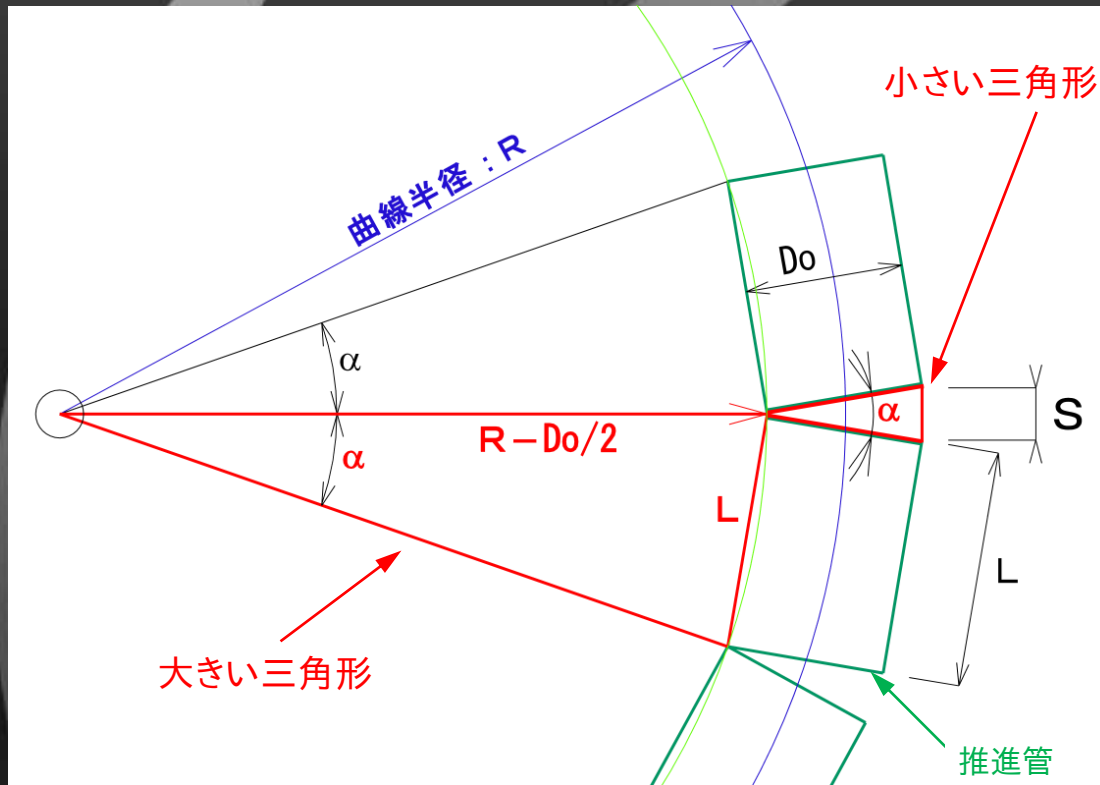


繁華街周辺の道路事情などにより大通り間を裏通りから大きく迂回するような施工線形となった。

その結果、

大通り1 の発進直後からR=50mを通過し
R=25mで裏通りへ進行、大通り2 へはR=30mで
進入する C型の急曲線施工となった。

推進管長の決定 その1



目地開口差：S を求めるには、

目地開口差：S

曲線半径：R

管外径：Do

管長：L

左の図には大小2つの赤い三角形が有る。
2つの三角形は相似形であることから、
お互いの関連数値を比率で比べれば
各所の寸法を得ることが出来る。

赤い大小2つの三角形は同じ角度を持つことから、
図形として同じ形である。（相似形）

小さい三角形の S の値を求めるならば、各辺の長さが
解っている大きい三角形から比率で求めることが出来る。

大小2つの図形の比率はそれぞれ解っている辺の長さを
比べることで求めることが出来る。

$$\text{比率} = \text{Do} / (R - \text{Do} / 2)$$

比率を求めることが出来たならば、

L の長さを掛け合わせることで
目地開口差：S の長さが求まる。

$$\begin{aligned} S &= L \times \text{比率} \\ &= L \times (\text{Do} / (R - \text{Do} / 2)) \end{aligned}$$

よって、

$$S = (L \times \text{Do}) / (R - \text{Do} / 2)$$

推進管長の決定 その2

管長：L を求めるために必要な数値は、

管 長 ： L

曲線半径：R

管 外 径：D_o = 1.78 m

目地開口差：S = 55 mm

目地開口差：S は J C 継ぎ手規格では 60mm であるが、クッション材を挟む余裕を考慮し 55mm と設定した。

ここに、管長を求めるための試算式を使用する。

$S = (L \times D_o) / (R - D_o / 2)$ より、

$L = (R - D_o / 2) / (D_o / S)$ と変換

BC1 R=50m では

$$L = (50 - 1.78 / 2) / (1.78 / 0.055)$$

$$L = 1.517\text{m} \cdots \text{半管 } L = 1.2\text{m}$$

BC2 R=25m では

$$L = (25 - 1.78 / 2) / (1.78 / 0.055)$$

$$L = 0.745\text{m} \cdots 1/4\text{管 } L = 0.6\text{m}$$

BC3 R=30m では

$$L = (30 - 1.78 / 2) / (1.78 / 0.055)$$

$$L = 0.899\text{m} \cdots 1/3\text{管 } L = 0.8\text{m}$$

$$L = (R - D_o / 2) / (D_o / S)$$

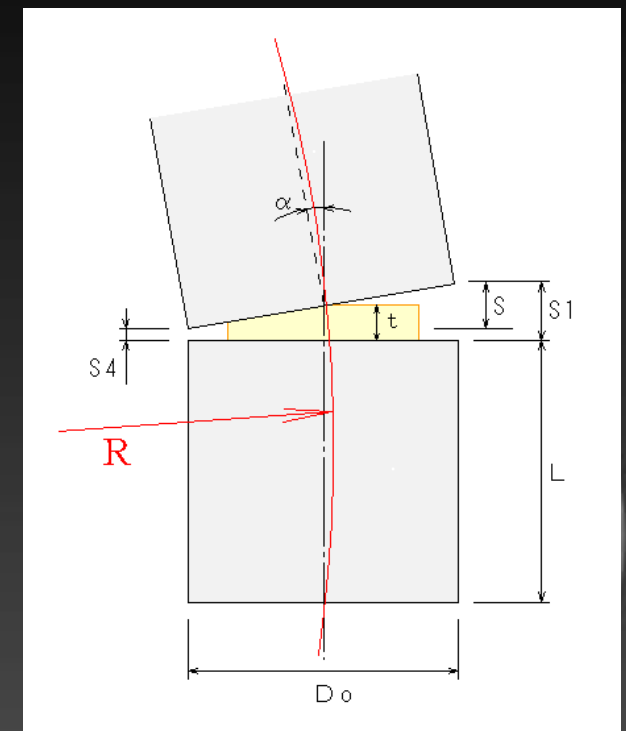
この 試算式は表計算ソフトにおいて

選択テーブルから値を取得しやすいため利用している。

$$= \text{HLOOKUP}((R - D_o / 2) / (D_o / S), \text{選択テーブル}, 2)$$

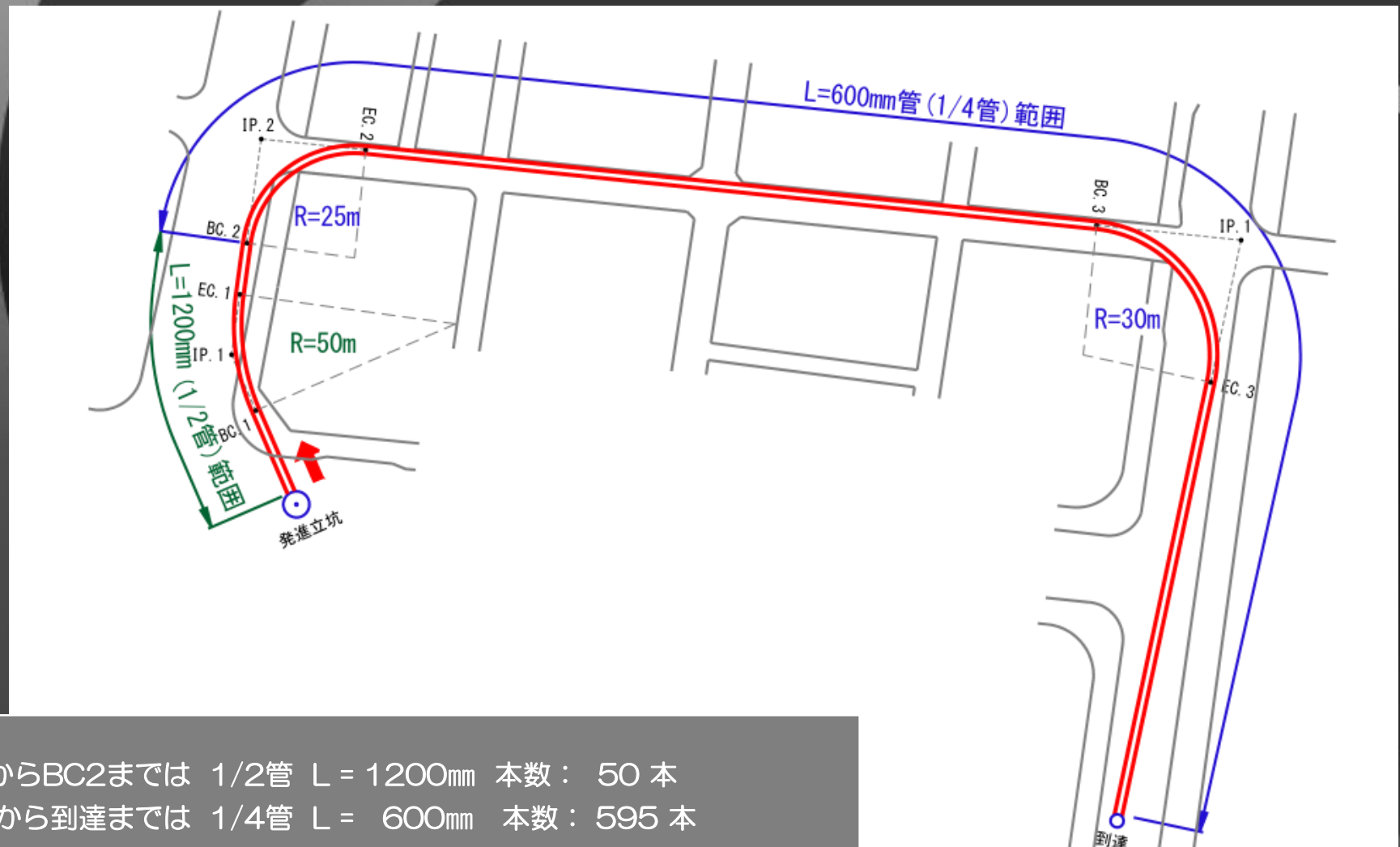
管長と管種の選択テーブル

管 長 (m)	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	2.43
管 種 名	1/6管	1/5管	1/4管	1/3管	半管	標準管



管の割付図

1/2管 L=1200mm と 1/4管 L=600mm



発進からBC2までは 1/2管 L = 1200mm 本数： 50 本
BC2から到達までは 1/4管 L = 600mm 本数： 595 本

推進管の本数は実に 645本 という稀有な計画となった
(初期計画段階にて)

発進立坑はφ6000mmであるため
発進する推進管の寸法は
半管 L = 1200mm を最大長とした。

推進力の検討による 推進システム の決定

一般泥濃の推力計算 結果

元押推力	10,338.01kN		
位 置	BC.1	BC.2	BC.3
曲線半径	R=50m	R=25m	R=30m
外圧強度	4種以上 NG	4種以上 NG	2種以上 OK
側方荷重	187.36	292.14	86.45
地山強度	232.42		
曲線防護	OK	NG	OK
支圧壁背面 地盤反力	元押推力 > 6,729.08kN …NG		

滑材二次注入の推力計算 結果

元押推力	7,901.47kN		
位 置	BC.1	BC.2	BC.3
曲線半径	R=50m	R=25m	R=30m
外圧強度	3種以上 OK	4種以上 NG	1種以上 OK
側方荷重	143.26	223.59	67.15
地山強度	232.24		
曲線防護	OK	OK	OK
支圧壁背面 地盤反力	元押推力 > 6,729.08kN …NG		

推力低減システムの推力計算 結果

元押推力	4,168.77kN		
位 置	BC.1	BC.2	BC.3
曲線半径	R=50m	R=25m	R=30m
外圧強度	2種以上 OK	2種以上 OK	1種以上 OK
側方荷重	75.15	122.47	41.14
地山強度	232.24		
曲線防護	OK	OK	OK
支圧壁背面 地盤反力	元押推力 > 6,729.08kN …OK		

推進力の検討をおこなった結果、
推力低減システムの使用にて施工可能となった。

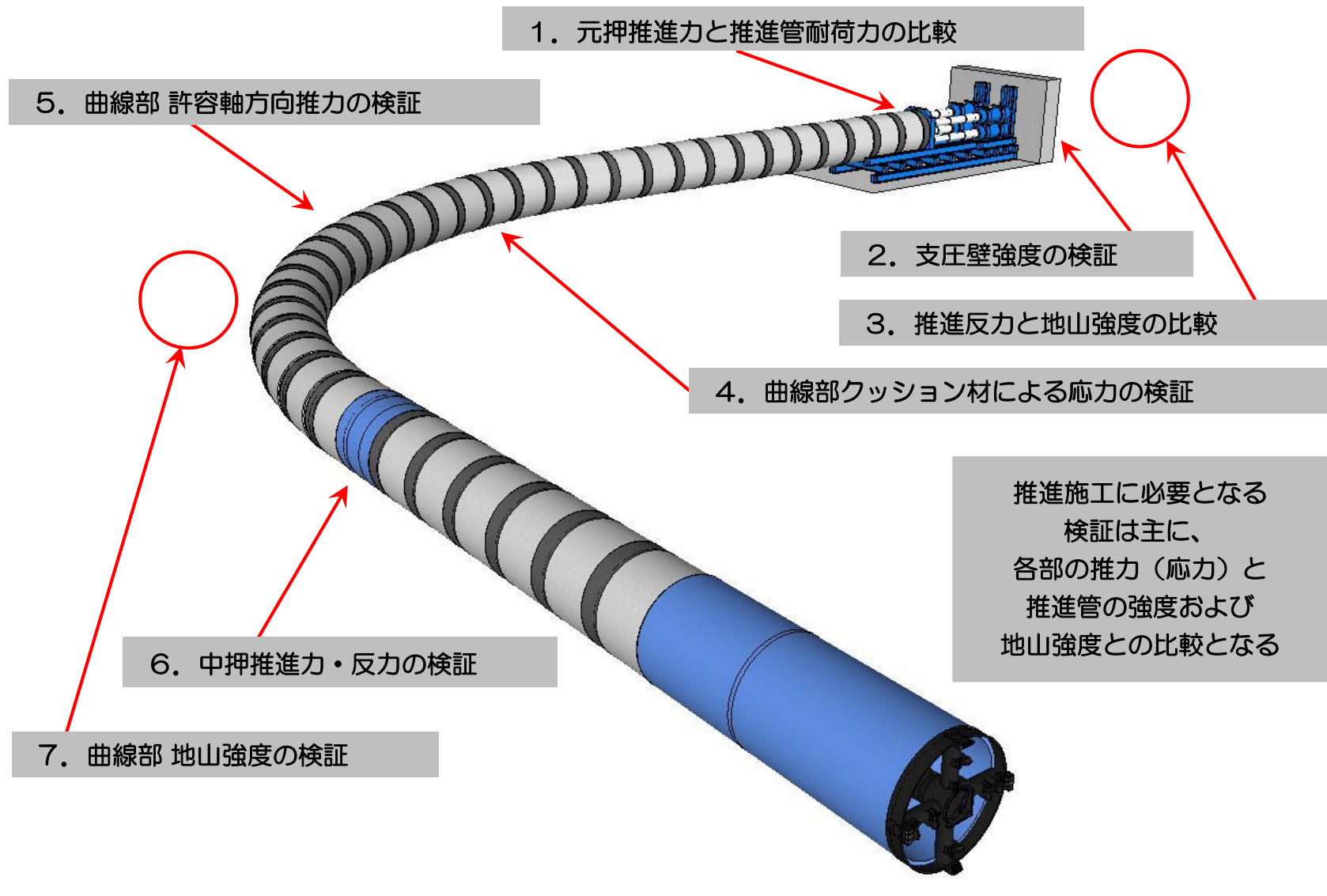
しかし、

1. 推進中にスポーツイベントにより休工期間が含まれること。
2. 周辺は世界的に著名な観光地でありトラブルは NG。
3. 砂層の急曲線施工であり「縁切り推力」の余裕を考えたい。

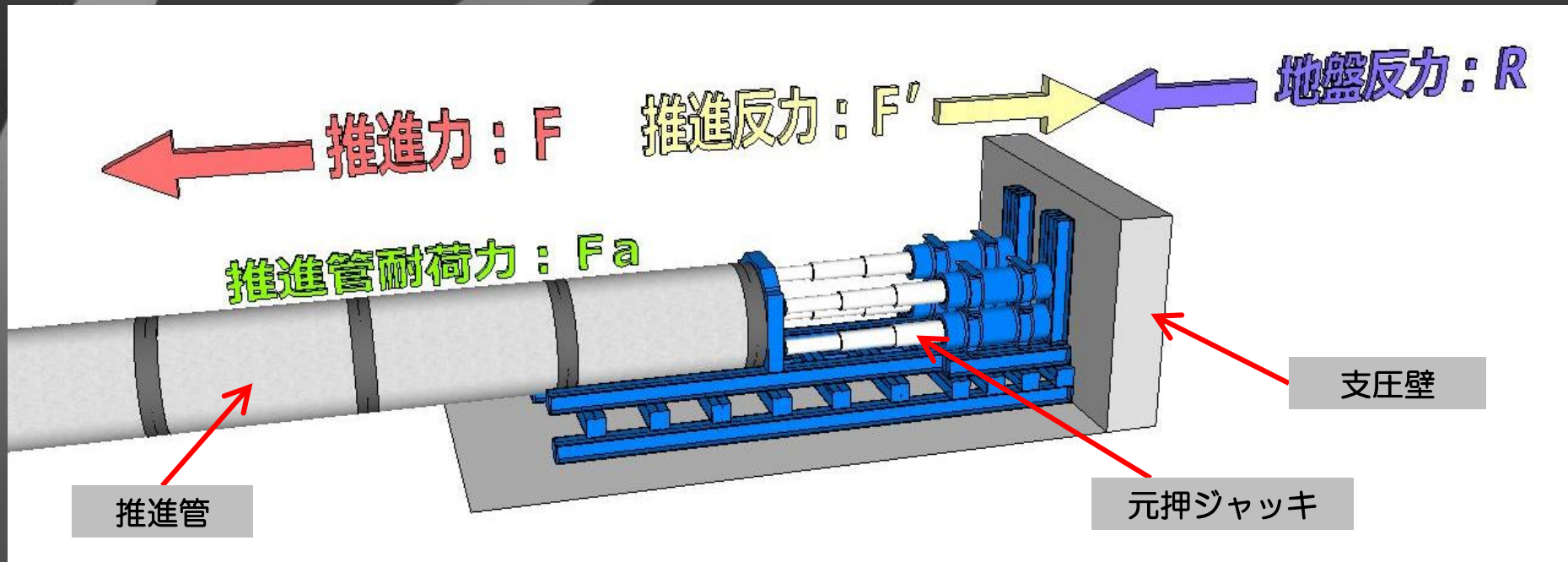
などを考慮して最終的には滑材二次注入をベースに
中押設備 を使用する事となった。

中押管を配置することで、推進力の分割を図り、
推進区間各所の負荷を全体的に下げる計画である。

曲線推進（中押有り）の推進力の設計検証ポイント



元押推進力と推進管耐荷力の比較

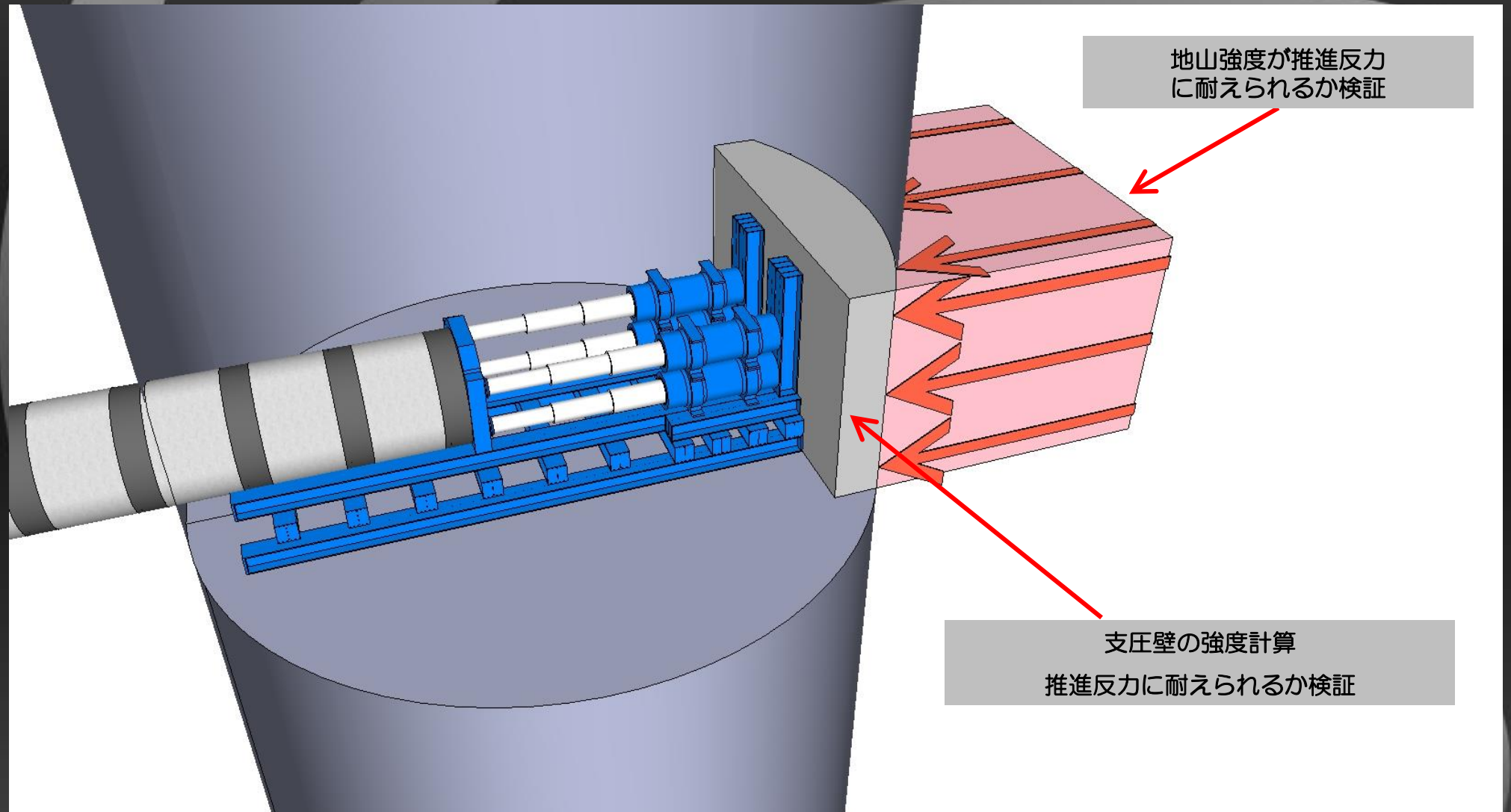


推進の軸方向管耐荷力 : F_a
元押施工の設計推進力 : $F = F'$
支圧壁背面の地盤反力 : R
この3つの耐力、応力はそれぞれ、
 F_a または $F \leq R$
および
 $F \leq F_a$
が成り立つ必要が有る。

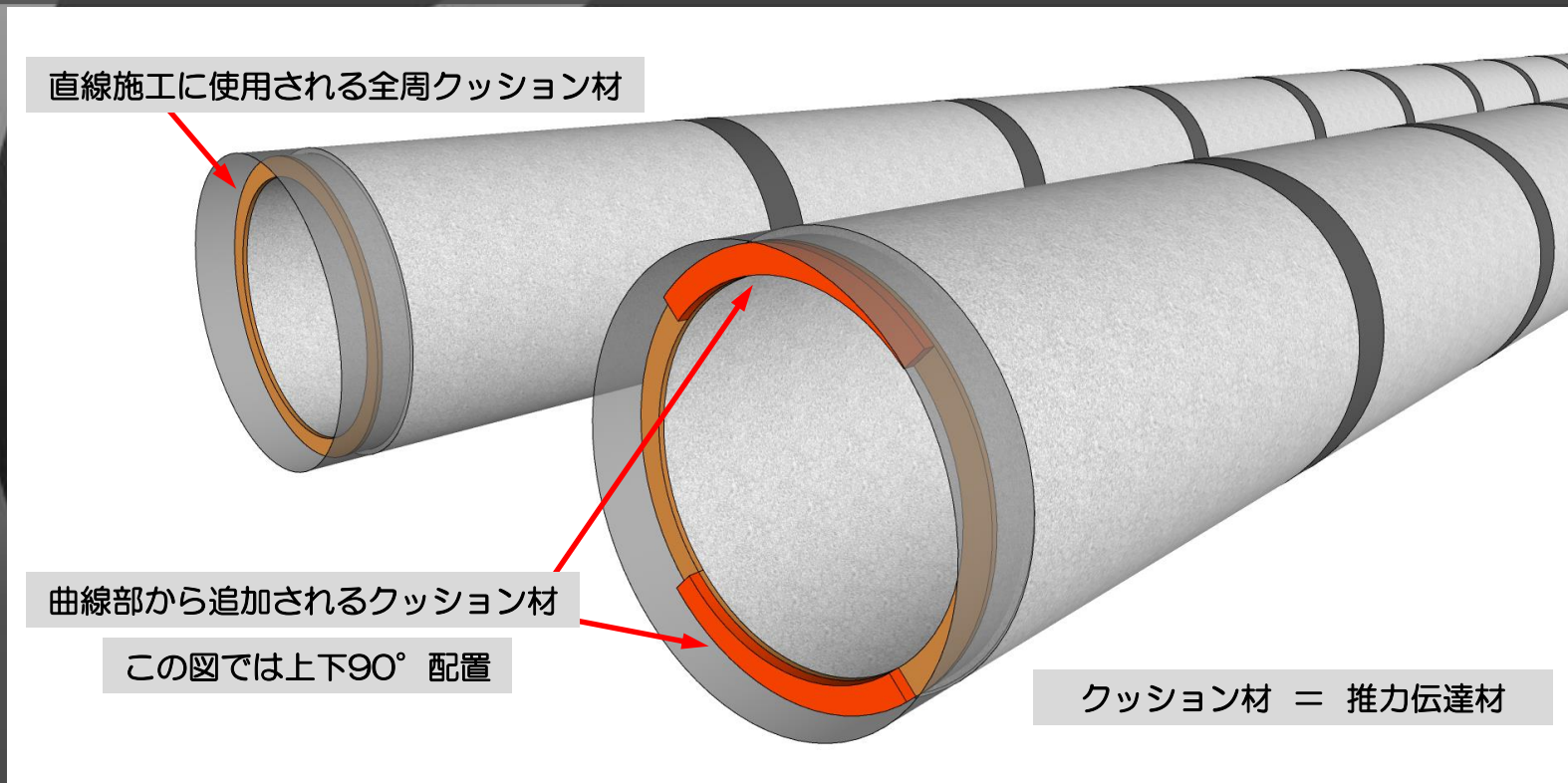
F_a または $F \leq R$
が成り立たない場合は支圧壁背面のを図る為、
山留材背面に地盤改良を施して地山耐力を確保する。

$F \leq F_a$
が成り立たない場合は推進力の低減を図る為、
通常システム → 滑材補助注入 → 推力低減システム
のように施工手法や使用機材を増強して推力低下を図る。

支圧壁・推進反力と地山強度の比較



曲線部クッション材による応力の検証 1



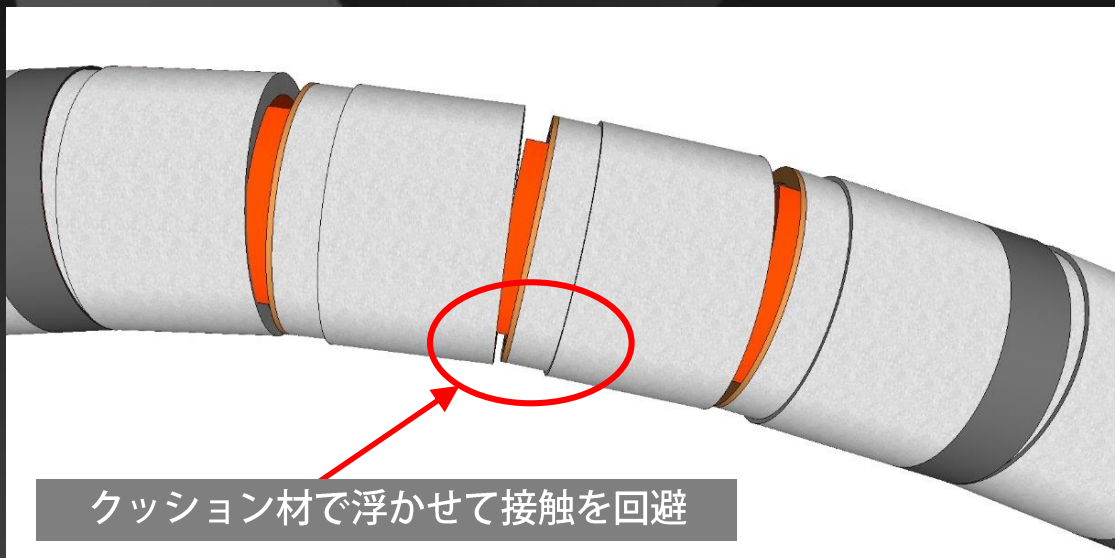
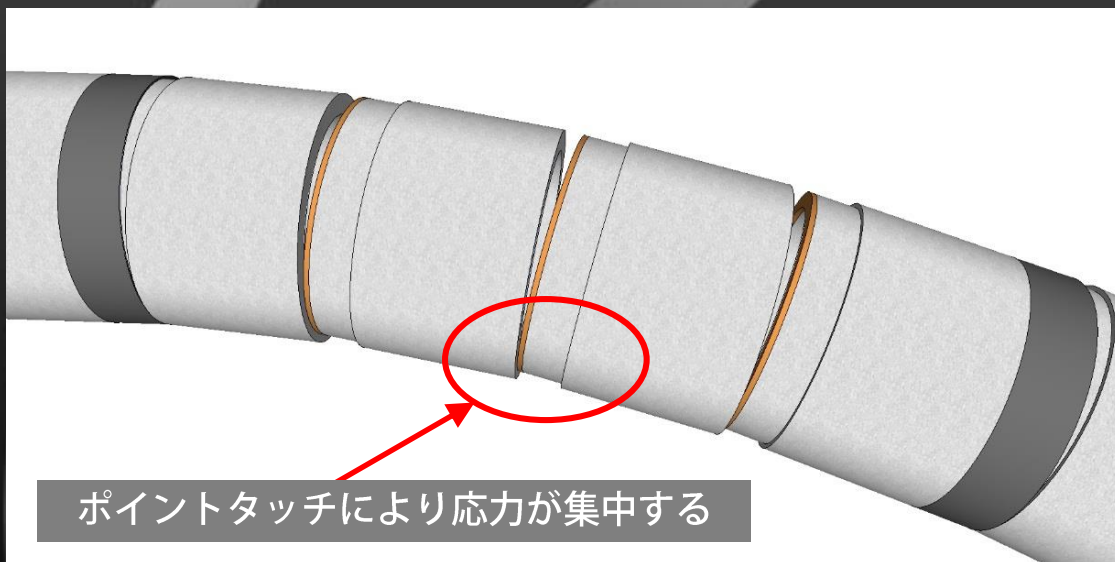
推進工法に使用される鉄筋コンクリート管は継ぎ手カラー部により連結されるが、コンクリート同士の接触による端部の破損を防止するためクッション材を使用する。

直線区間では全周クッション材を使用するが、曲線部からは管の折れ角などに応じた厚みの曲線用クッション材を使用して管の内角側ポイントタッチを防止する。

クッション材面積により管端面の50%しかコンクリート圧縮応力度の期待が出来ないことから
管耐荷力は曲線部から50%低下するものとする。（90° 配置の場合）

クッション材の種類により管の端面にかかる応力は複雑に変化することなどからクッション材または管材メーカーなどに解析を依頼するケースは多い。

曲線部クッション材による応力の検証 2



曲線区間では管に折れ角が付くことから
内角側の端面がポイントタッチをおこす。

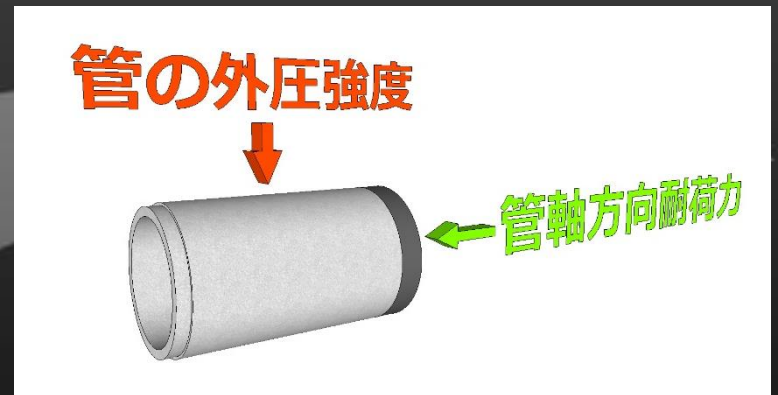
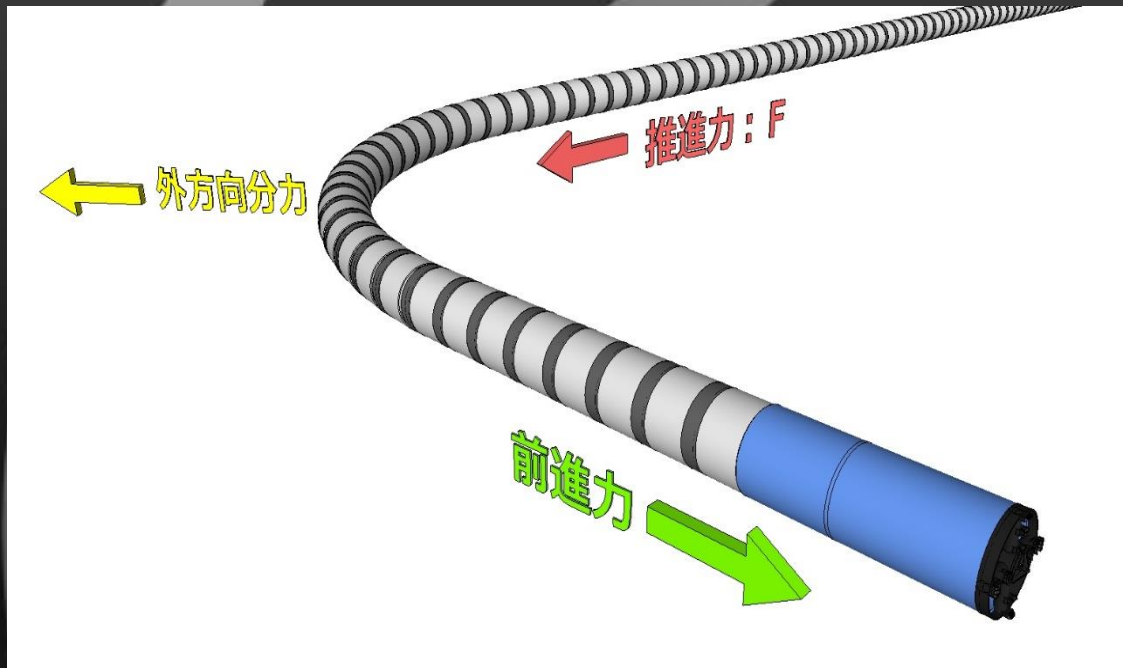
推進力が **管の内角側1点** に集中するため、
コンクリートの許容圧縮応力を超えて
管の破損を招く。

これらの現象を防止するため
曲線用クッション材を追加するなど
内角側の端面を浮かせる形で
ポイントタッチを防止する。

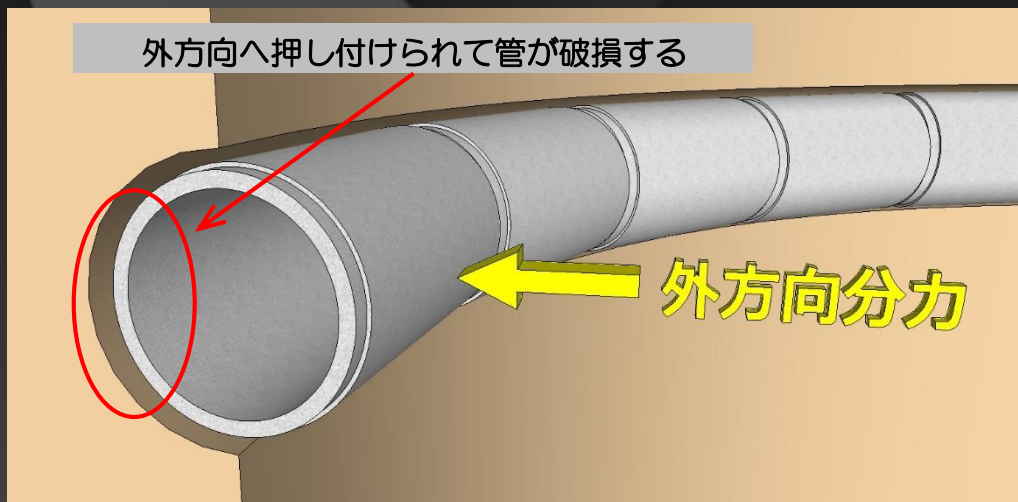
管の耐荷力は、
コンクリート許容平均圧縮応力度 と
管口面積 により求められる。

このためクッション材の当る面積により
管の耐荷力（≒ 推力伝達力）が変化する。

曲線部 許容軸方向推力の検証 1



推進管は円筒形ため
推進方向への **元押推進力** と
管の側面に加わる **外方向分力** の二つの
応力を推進作業中に受けることになる。



曲線部では推進力と曲率（折れ角）に応じた
外方向分力（ベクトル）が発生する。

このため曲線部では推進方向に **管耐荷力** と
外方向分力に対する **外圧強度** が必要となる。

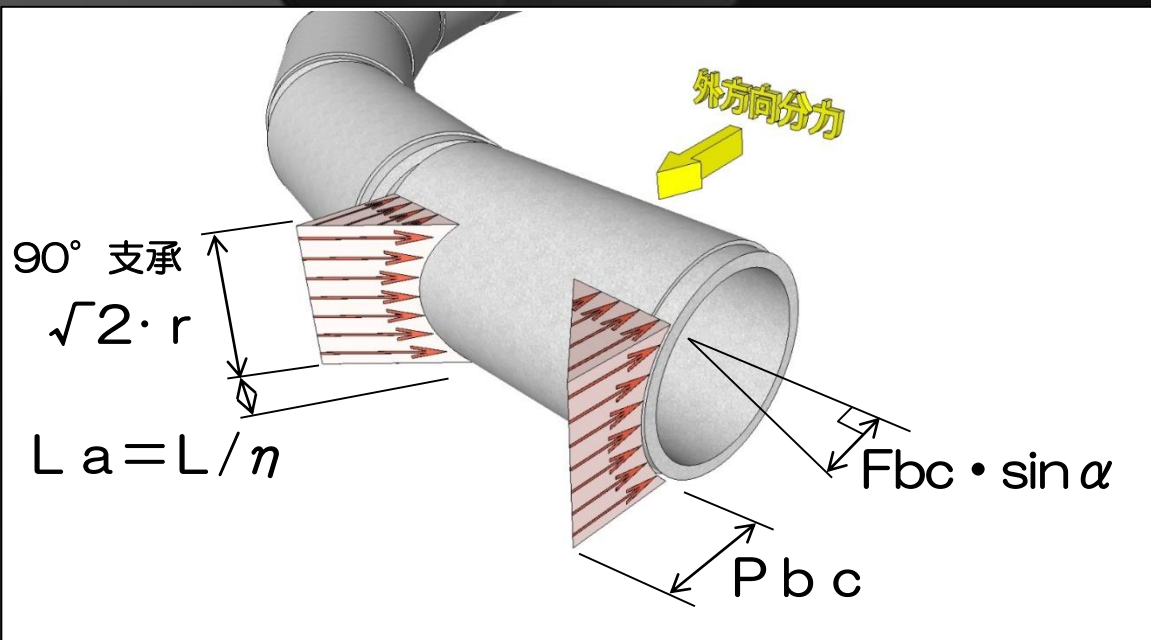
管の折れ角と外方向分力、外圧強度、
地山反力からBC点に与えられる推進力を
逆算した値を **許容軸方向推力** という。

曲線部 許容軸方向推力の検証 2

曲線部では管の折れ角により外方向へ張り出す力が働く。
この力により推進管は地山側からの反力として側方荷重を受ける。

推進管の外圧強度よりも側方荷重が大きければ管の破損を招くため
曲線部へ与えても良い BC点 推力 = 許容軸方向推力： F_a として、

$$\text{許容側方荷重} = \sqrt{2} \cdot L_a \cdot r \cdot q_a \text{ から、}$$
$$F_a = (\sqrt{2} \cdot L_a \cdot r \cdot q_a) / (\sin \alpha \cdot \gamma)$$



許容軸方向推力： F_a (kN)

管厚中心半径： r (m)

推進管の長さ： L (m)

影響範囲係数： η

影響範囲長： $L_a = L / \eta$

管の許容等分布側圧： q_a (kN/m²)

安全係数： $\gamma = 1.5$

推進力の検討 推進管の規格と推力管理値

Φ1500mm
推進工法用鉄筋コンクリート管
の規格数値

呼び径：φ1500mm
外径：φ1780mm

耐荷力：50N管	7,939kN
70N管	10,688kN
90N管	13,741kN

外圧強度：1種管	50.1kN/m
2種管	101.0kN/m
3種管	151.0kN/m
4種管	201.0kN/m

最も応力の影響を受ける BC2 の R=25m を
コントロールポイントとすると

曲線部の許容耐荷力 50N管 = $7,939\text{kN} \times 50\%$
= **3,969.5kN**

外圧強度別の曲線部の許容軸方向推力は

1種管	= 1,909.30kN
2種管	= 3,448.91kN
3種管	= 4,961.26kN ※
4種管	= 6,473.62kN

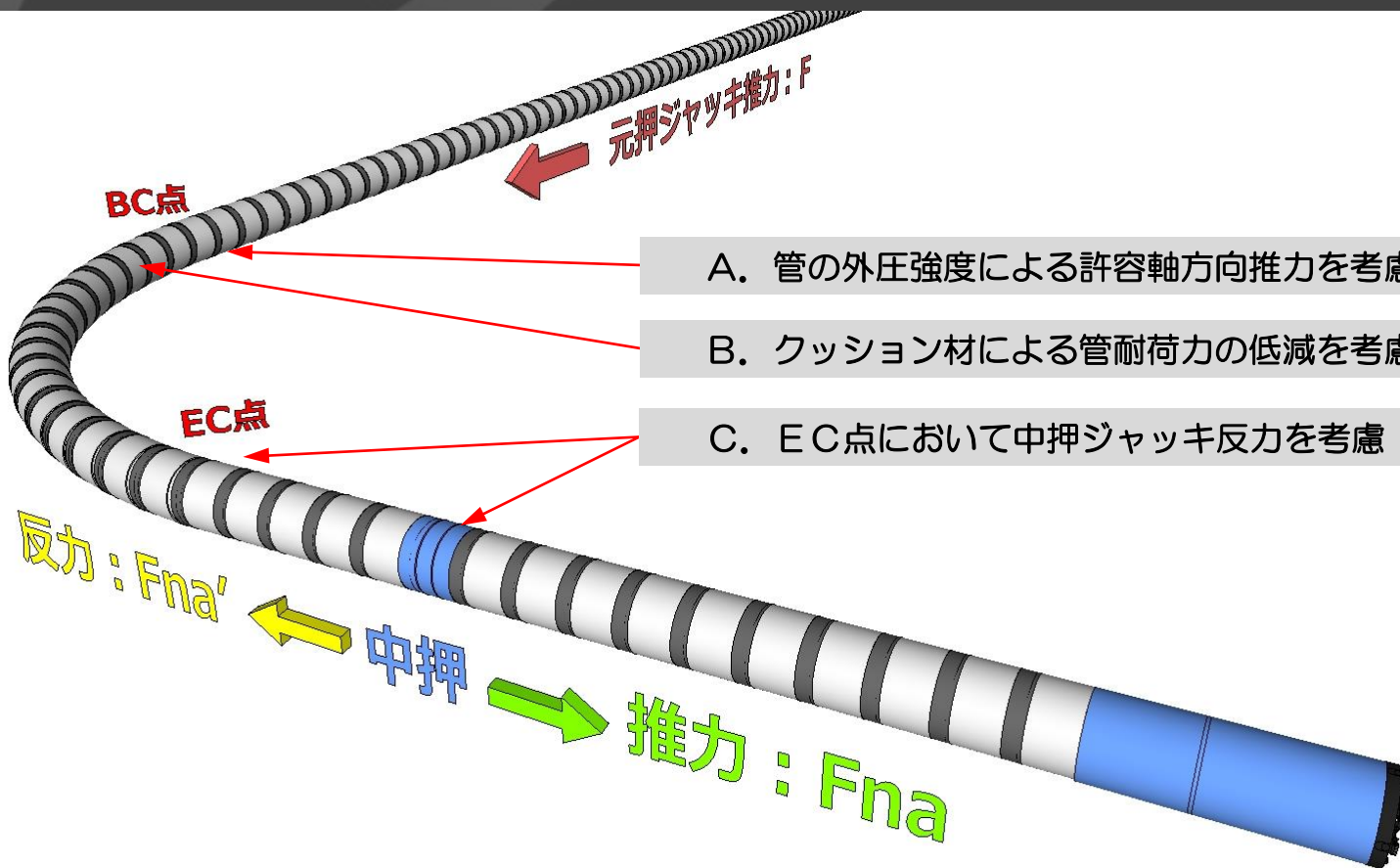
BC2 からは 1/4管 L=600mm を使用することから
外殻鋼管付きコンクリート管である3種管を使用する。

3種管の許容軸方向推力は = **4,961.26kN**

よって、曲線部に与えられる応力の内、最も弱い値である
曲線部の許容耐荷力の **3,969.5kN** を採用する。（設計時）

実施工では推進管納入メーカーへ使用クッション材の
応力解析を依頼した結果、設計時より余裕があると解り
4,138kN を **推力管理値** として施工をおこなう事とした。

中押推進力の検証 1



曲線部では A、B いずれか小さい値を基準として
曲線部に掛かる推進力の設定を行う必要が有る。

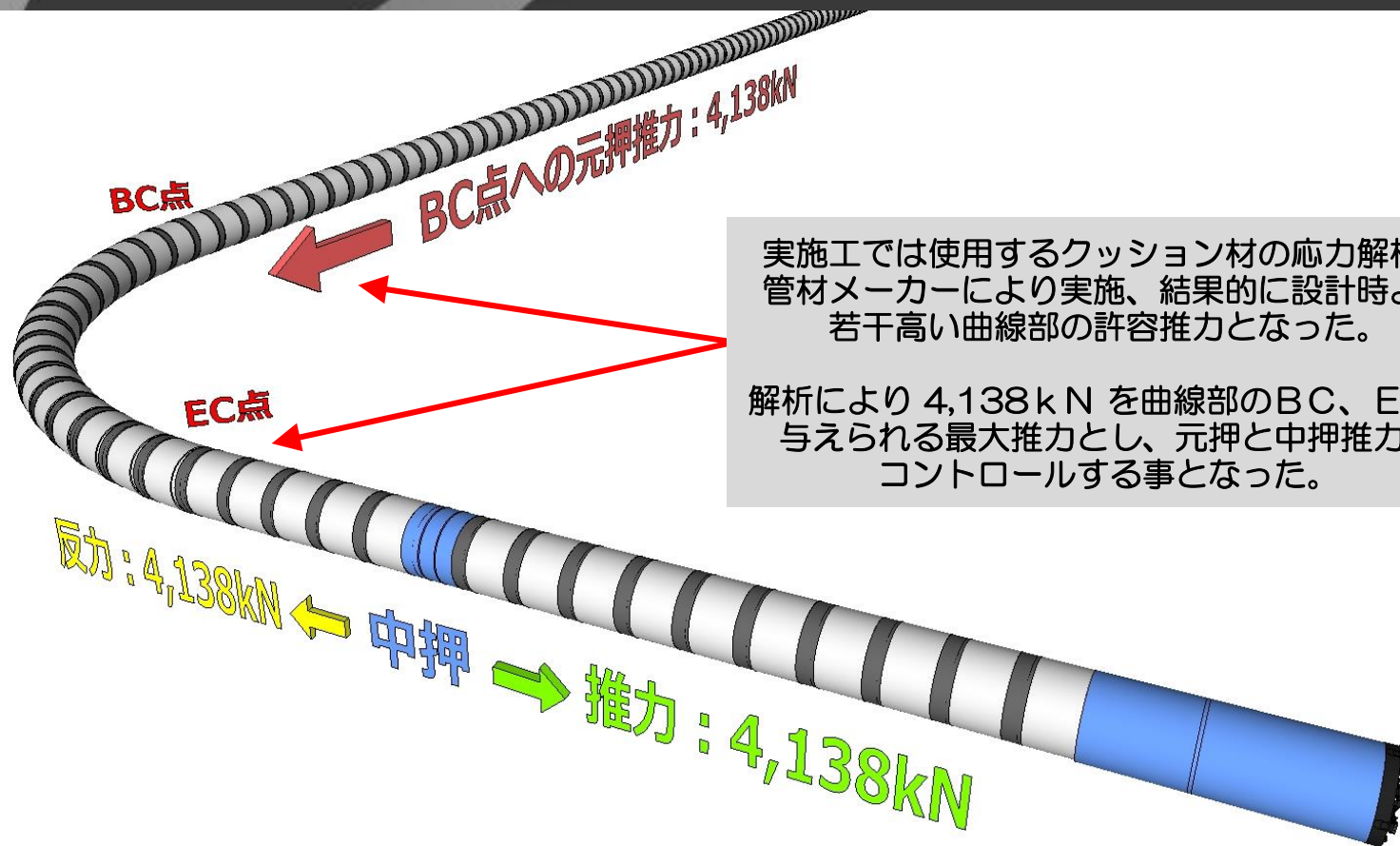
中押管を使用する場合でも中押上限推力をこの値に設定する。

これには先に推理管理値とした 4,138kN を採用した。

中押ジャッキの反力も曲線部に影響を与えるため、この値を管理値とする。

(中押管が曲線部を通過している場合)

中押推進力の検証 2



実施工では使用するクッション材の応力解析を
管材メーカーにより実施、結果的に設計時より
若干高い曲線部の許容推力となった。

解析により 4,138 kN を曲線部のBC、ECへ
与えられる最大推力とし、元押と中押推力を
コントロールする事となった。

推進管納入メーカーによるクッション材の応力解析により
4,138kN を曲線部へ与えられる許容推力として設定した。

この値を元押ジャッキ推力と中押ジャッキ推力にて
コントロールし、曲線部の管の耐荷力、外圧強度、
受動土圧強度の範囲を超えないように施工をおこなう。

曲線部 地盤強度の検証

BC点の推力： F_{bc} により推進管列の外方向張出力から 側方荷重： P_{bc} を求める。

$$P_{bc} = F_{bc} \cdot \sin \alpha / (L_a \cdot r \cdot \sqrt{2})$$

受動土圧強度： P を掘削地盤の土質定数と土被りにより求める。

$$P = (\gamma \cdot H) \cdot \tan^2 (45 + \phi / 2) + 2 \cdot C \cdot \tan (45 + \phi / 2)$$

側方荷重： P_{bc} と 受動土圧強度： P は次の関係を保つ必要が有る。

$$\text{側方荷重： } P_{bc} < \text{受動土圧強度： } P$$

地山の強度が不足する場合には曲線部の防護工が必要となる。

側方荷重： $P_{bc} = F_{bc} \cdot \sin \alpha / (L_a \cdot r \cdot \sqrt{2})$ の式より、

$$F_{bc} = P \times (L_a \cdot r \cdot \sqrt{2}) / \sin \alpha \quad \text{と変換}$$

表計算ソフトにて取扱い易い値として利用する。

地盤強度からの **BC1** 許容推力

$$F_{bc1} = 170.51 \times (1.137 \times 0.82 \times \sqrt{2}) / \sin 1.40005 = 9,201.53 \text{ kN}$$

地盤強度からの **BC2** 許容推力

$$F_{bc2} = 171.52 \times (0.600 \times 0.82 \times \sqrt{2}) / \sin 1.42590 = 4,795.94 \text{ kN}$$

地盤強度からの **BC3** 許容推力

$$F_{bc3} = 128.01 \times (0.600 \times 0.82 \times \sqrt{2}) / \sin 1.18097 = 4,321.53 \text{ kN}$$

推進力の設計による各種比較検証結果

1. 元押推力と管の耐荷力の比較

50N管耐荷力 = 7,939 kN

推力管理値 = 4,138 kN . . . OK

2. 支圧壁強度の検証 (円形立坑)

H3.00m×W4.08m×D0.80m にて OK

3. 推進反力と地山強度

推力管理値 = 4,138.00 kN

地山強度 = 4,811.49 kN . . . OK

4. クッション材による応力検証

推力管理値として設定 . . . OK

5. 曲線部 許容軸方向推力

外圧強度 3種管 = 4,961.26kN にて OK

6. 中押推進力の検証

中押最大推力 = 5,000 kN

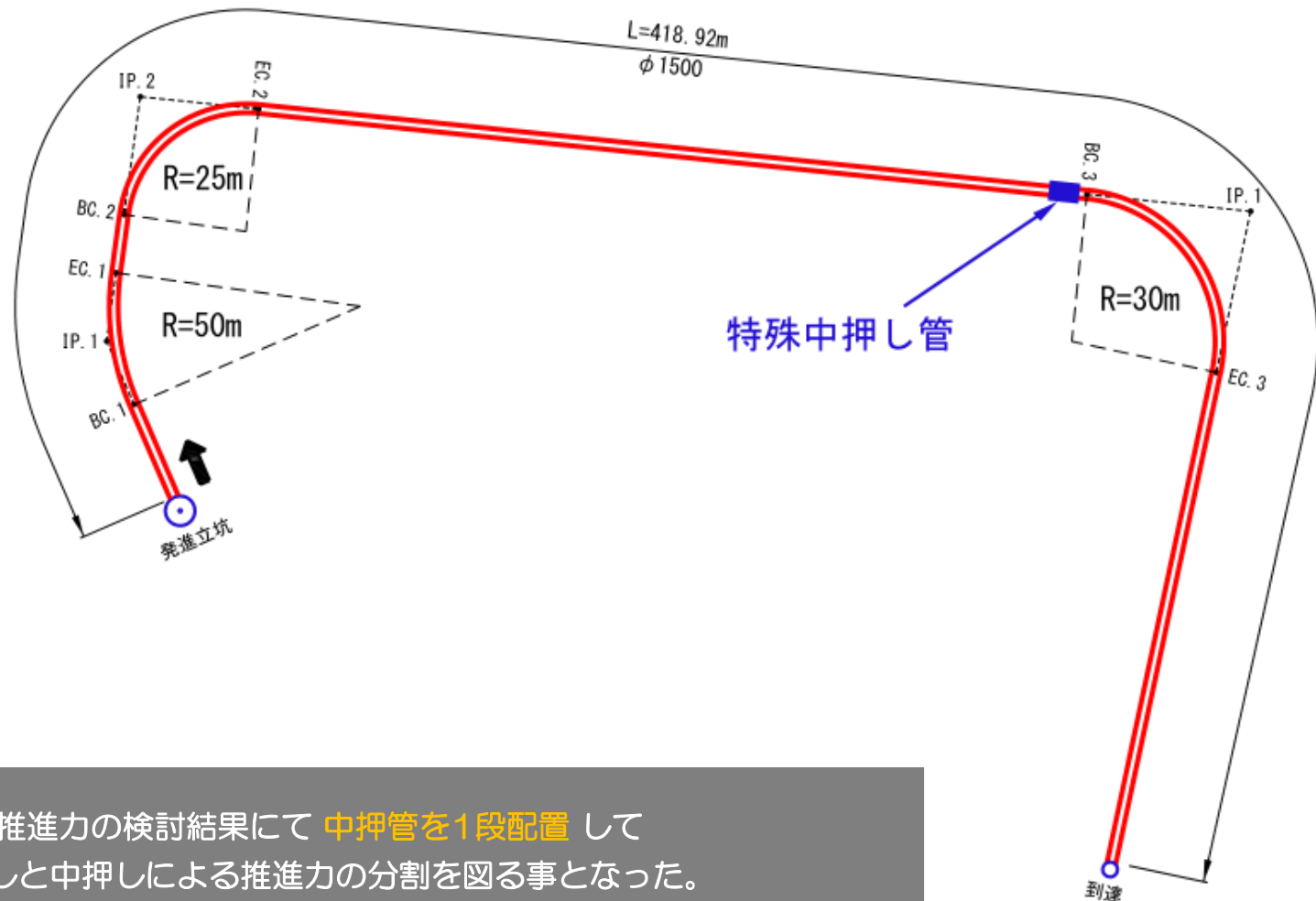
推力管理値 = 4,138 kN . . . OK

7. 曲線部 地山強度の検証

BC3 許容推力 = 4,321.53 kN

推力管理値 = 4,138.00 kN . . . OK

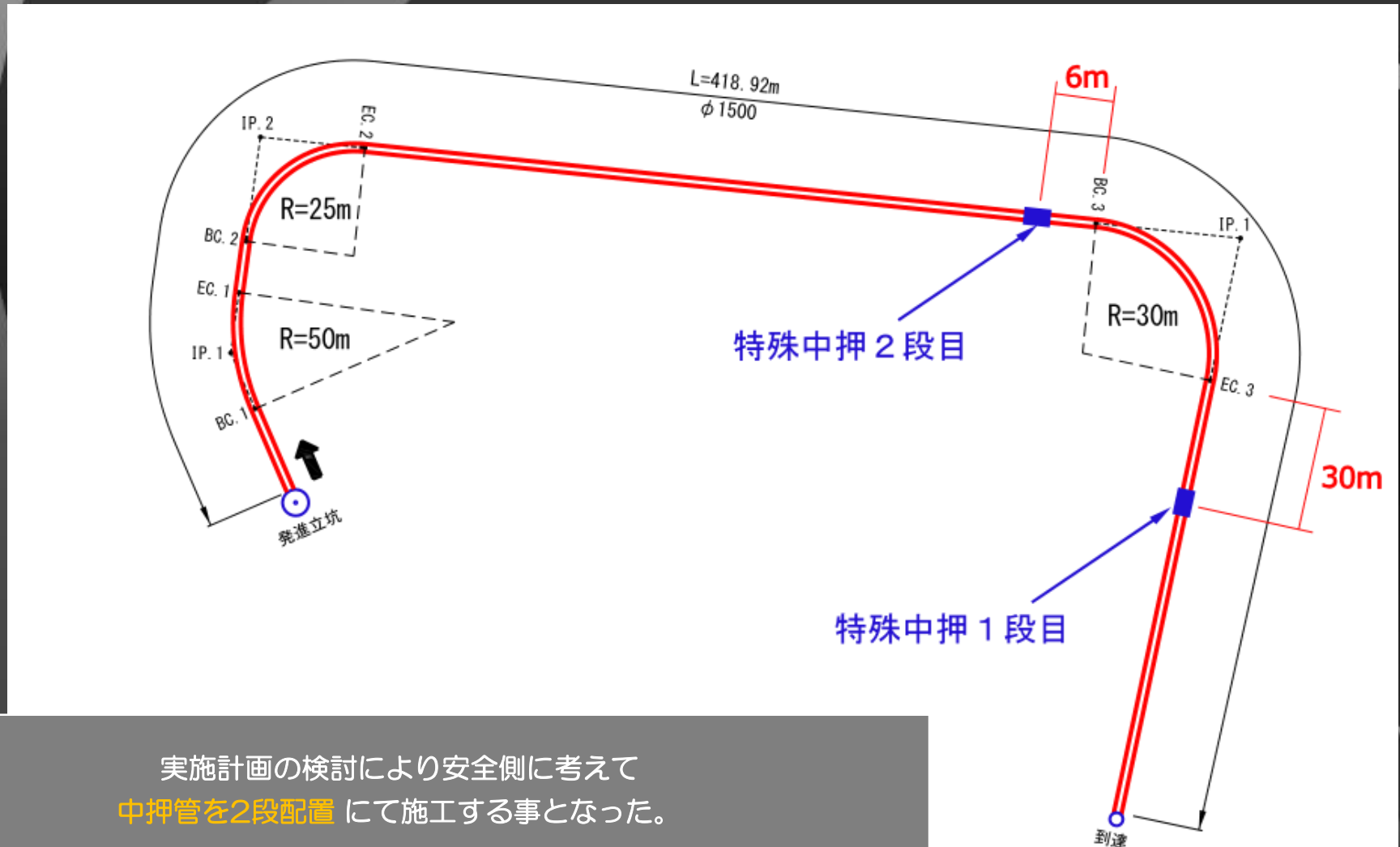
特殊中押管の配置 計画案



推進力の検討結果にて 中押管を1段配置 して
元押しと中押しによる推進力の分割を図る事となった。

計画では中押管の位置は BC3 R=30m の直前に予定された。

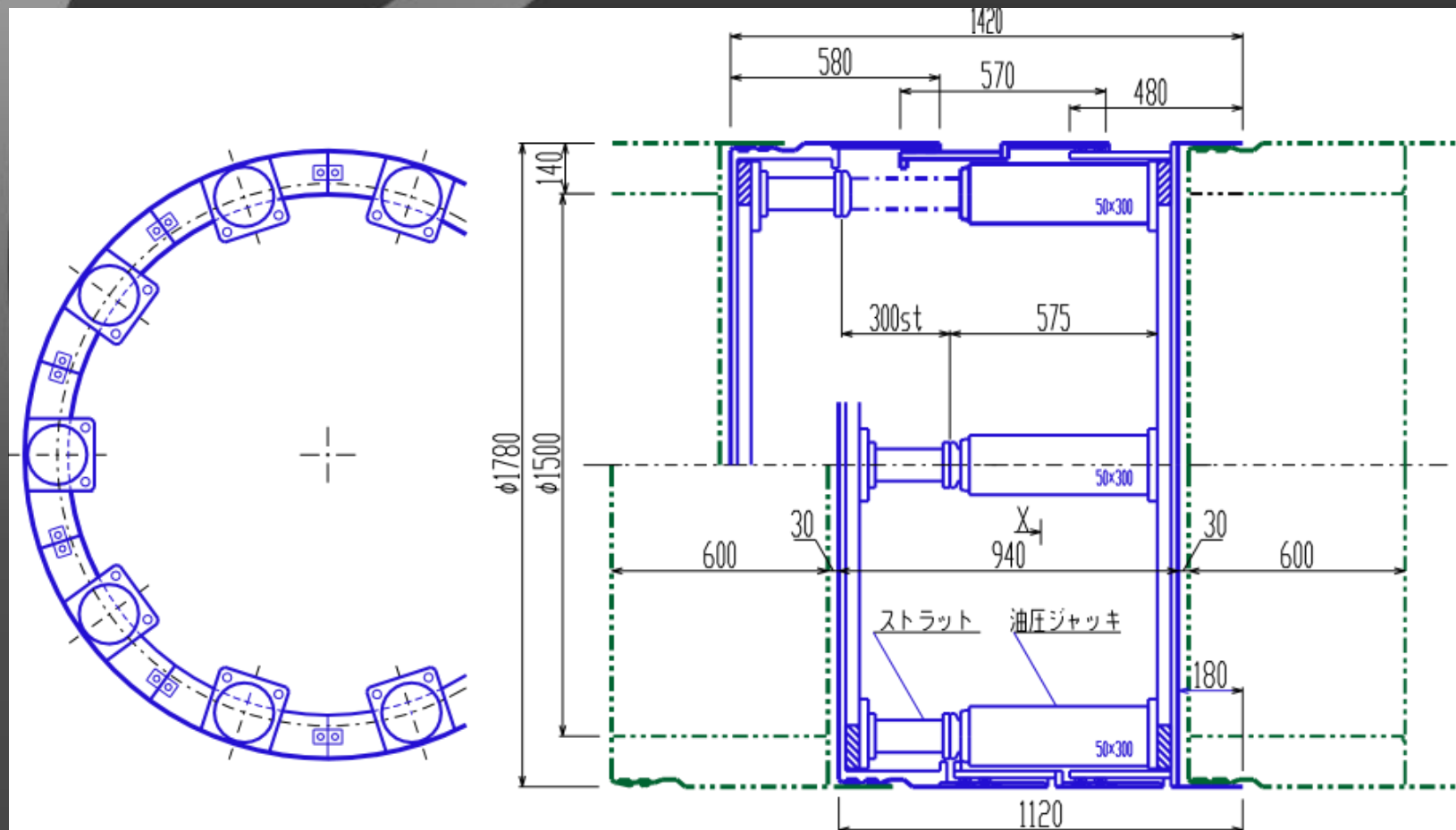
中押管の配置 実施工時の案



実施計画の検討により安全側に考えて
中押管を2段配置にて施工する事となった。

大通りと裏通りを通過するが、両社とも繁華街のため
突発事項によるトラブルは回避したい。
そのため推進力の検討結果を鑑みた上での安全対策であった。

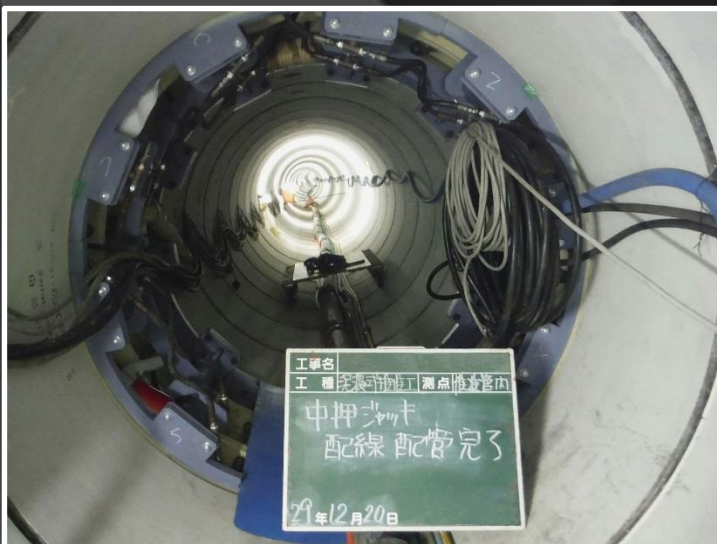
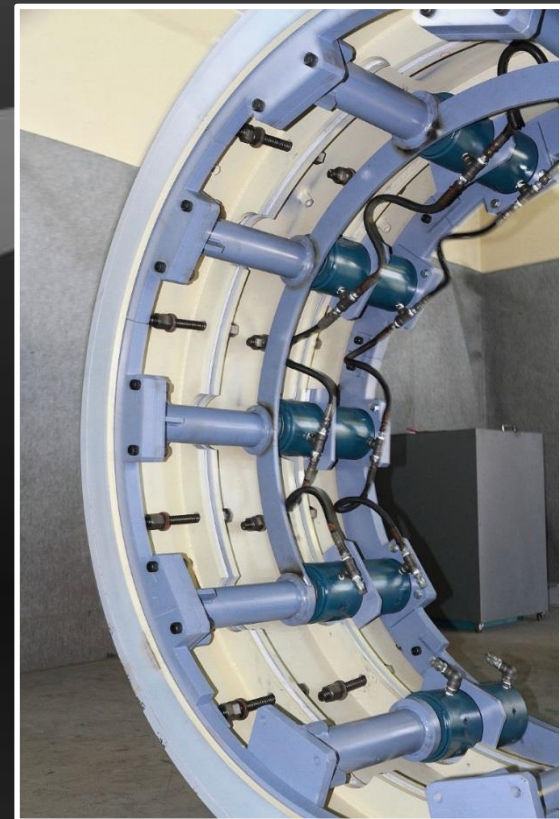
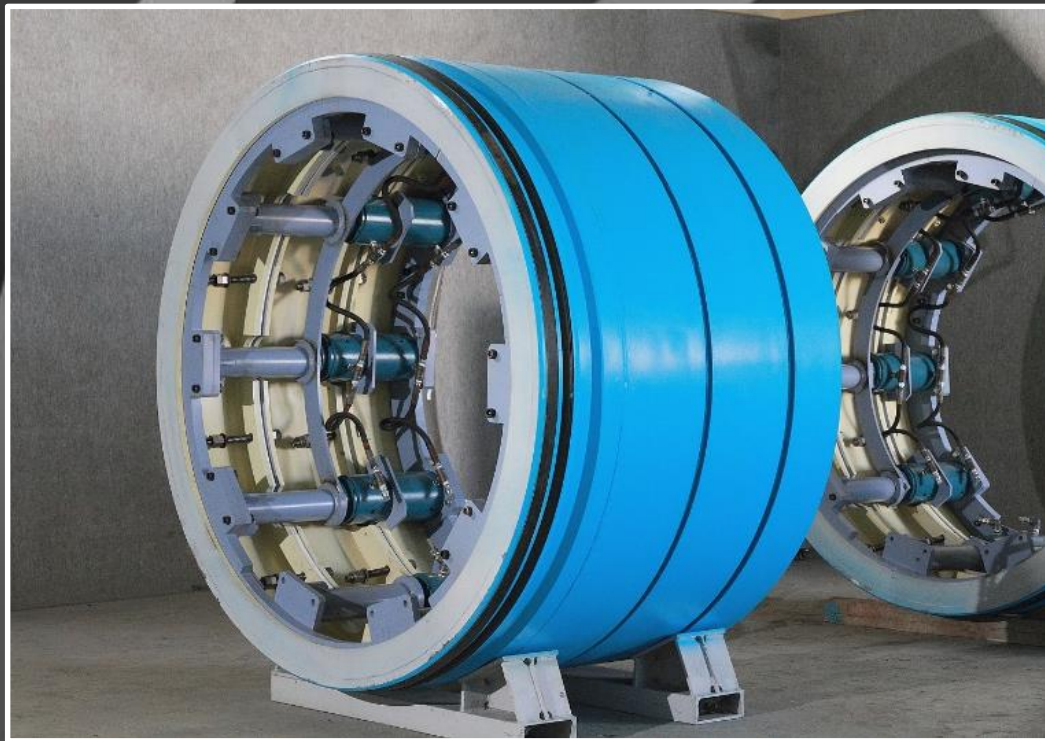
特殊中押管の仕様 その1



特殊中押管は3つのピースから成り、それぞれがスライド伸長することで急曲線対応する管の折れ角を確保しながら且つ、必要な中押し伸長を満足する仕様である。

伸縮時は $L=1120\text{mm}$ 、伸長時は $L=1420\text{mm}$ 、中押ストローク $S=300\text{mm}$ 、
中押ジャッキ最大推力は $500\text{kN} \times 10\text{本}$ の $5,000\text{kN}$ である。

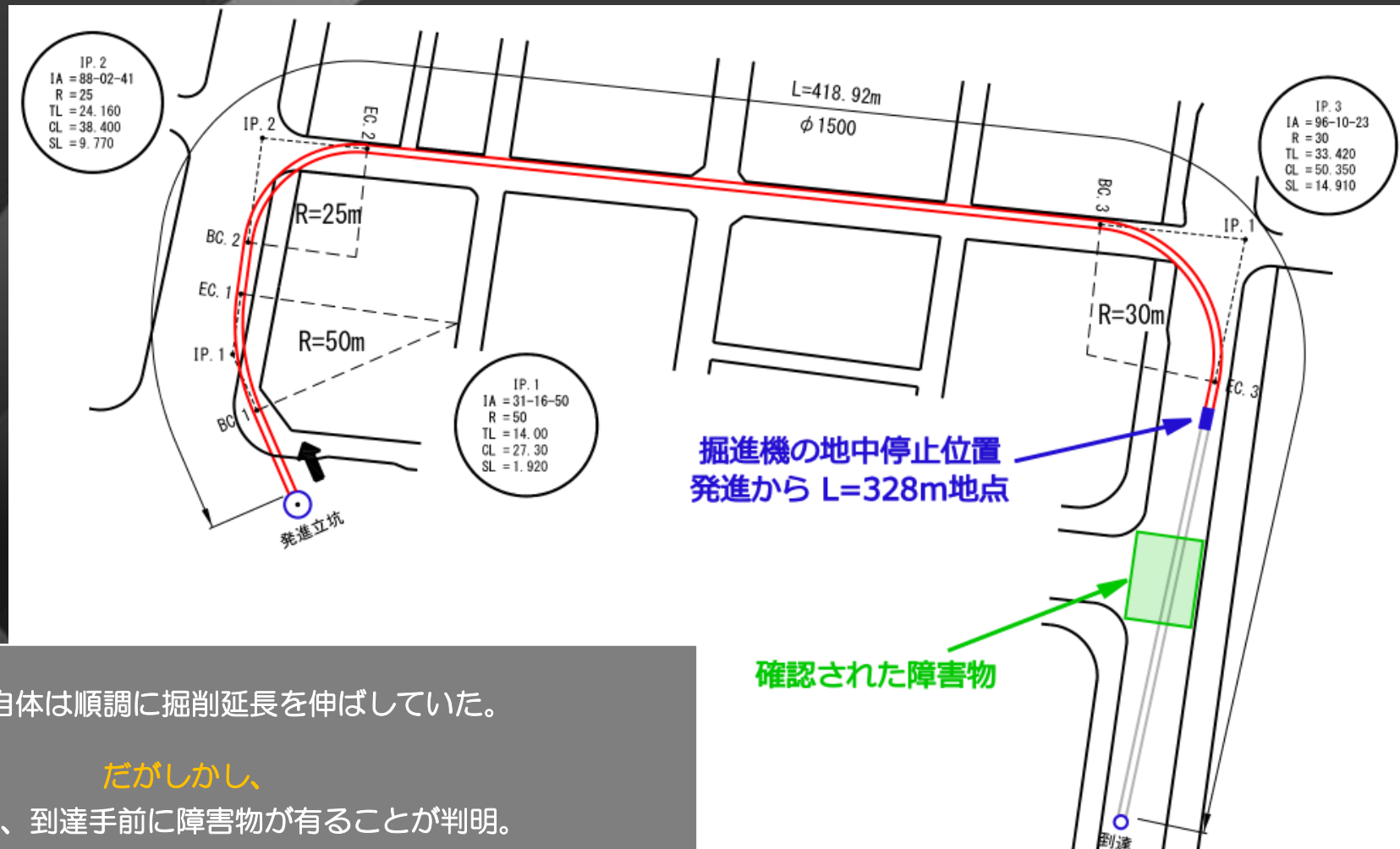
特殊中押管の仕様 その2



R=25m の急曲線施工をおこなえる中押管は
管材メーカー等では**規格外**となり製作は困難であった。
そのため掘進機と同じ工場にて設計製作された。

また、ソーウェイ推進工法の残置型掘進機が採用する
鉄筋コンクリートパネル設置による内径仕上げが
可能な構造であり作業性も考慮されている。

施工の最終結果 その1



推進作業自体は順調に掘削延長を伸ばしていた。

だがしかし、

ここに来て、到達手前に障害物が有ることが判明。

協議の結果 BC3の R=30m を通過した時点で

推進作業を終了する事となった。

ここでは事前調査による障害物予測の是非は問わないが、

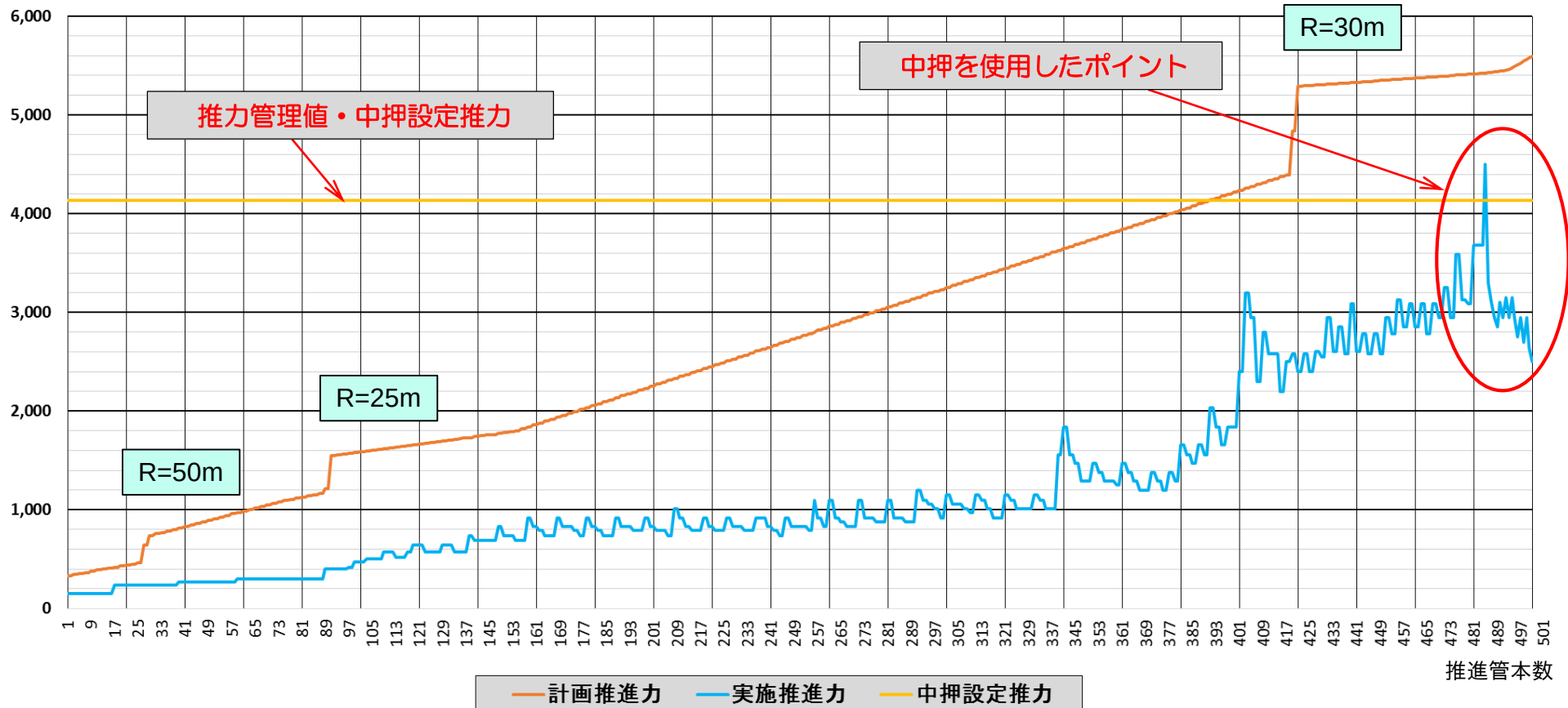
これほど難易度の高い施工の結末としては

最終到達まで見守れなかった事は非常に残念であった。

施工の最終結果 その2

推進力 (kN)

推進力 管理図表



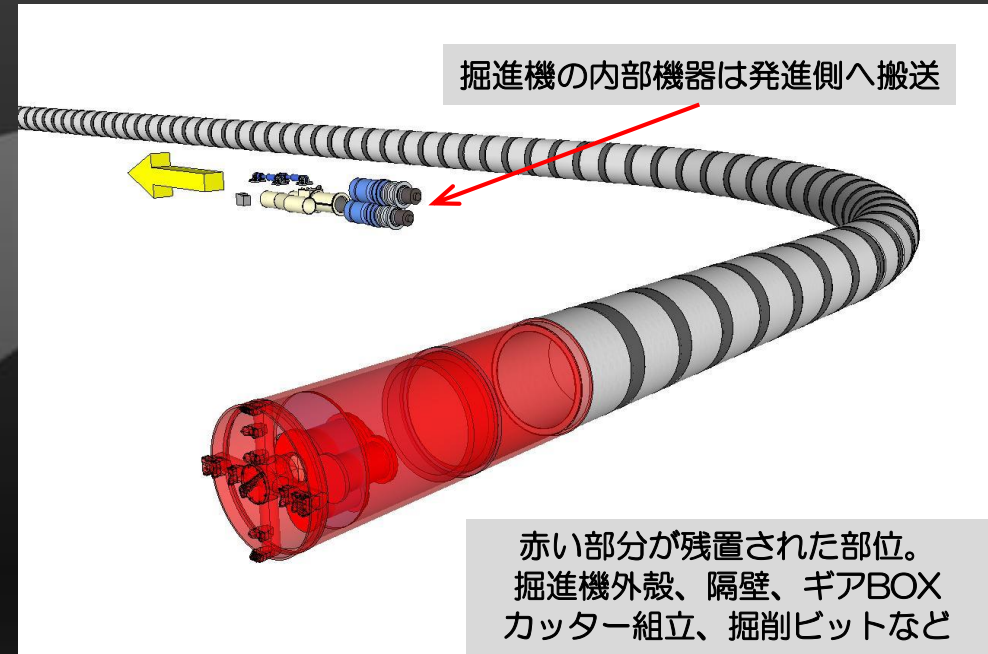
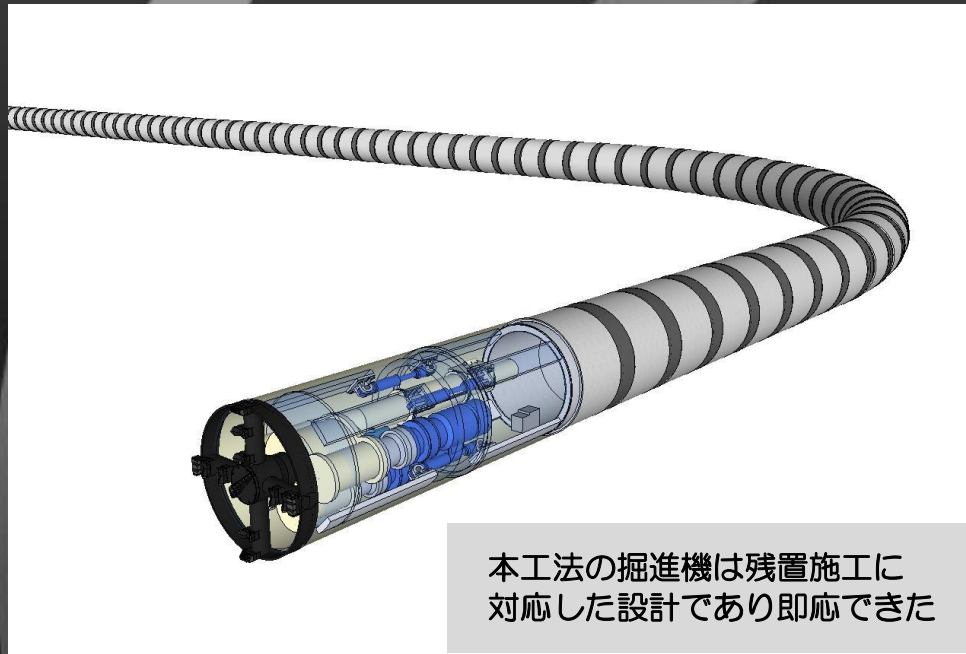
発進直後は砂層の見込みが砂礫層ではあったが推進力は概ね計画値の約半分程度で推移した。

最初の R=50mとR=25m区間を曲線造成とテールボイド形成などに割り振り、

日進量を落した慎重な施工が功を奏した形となった。

初期計画通りであれば最終到達まで余裕を持った施工が可能であった。

施工の最終結果 その3



当初は到達立坑にて掘進機の引き上げ回収をおこなう計画であった。

しかし、

障害物による計画の見直しから掘進機を地中にて停止するいわゆる**地中残置施工**となった。

到達側の大通りは著名な観光地であるため突発的な工事変更が出来ないためである。

ツーウェイ推進工法の掘進機は残置型の設計を基本とした構造であることから、
臨機応変に設計変更に対応することが出来た。これは本工法が持つ機材設計の強みである。
なお、最終到達位置までの残り区間は 諸計画の事情により2年後に再開されるとのことです。