

# 国際線地区取付誘導路の地盤改良設計について

関東地方整備局 東京空港整備事務所  
パシフィックコンサルタンツ(株)

○大城 悟、岩岸 幸男  
松田 繁樹、鈴木 章浩

キーワード: 液状化対策・シールド対策・地盤改良・軽量盛土・施工制約条件

## 1. 設計の概要

### 1.1.はじめに

東京国際空港では、将来の国内航空需要の増大にそなえ、羽田空港再拡張事業として新滑走路、国際線地区の整備を進めている。併せて、供用中である現空港の機能向上事業として新滑走路及び国際線地区の供用に併せた施設整備、施設の改良・耐震化を進めている。

取付誘導路(図1参照)は、国際線地区エプロンとA滑走路西側平行誘導路(以下「L-T/W」という。)との間を結ぶ計画であり、液状化対策も求められている。また、誘導路直下には、京浜急行空港線シールドトンネル(以下「京急シールド」という。)が存在し、地盤改良や盛土に伴う増加荷重などによる、列車運行、構造安全性への影響が懸念される。

本報告では、取付誘導路地盤改良設計として、取付誘導路直下における液状化対策工法の選定、及び京急シールドの防護対策に関する検討手法などについて紹介する。

### 1.2.設計におけるポイント

取付誘導路の液状化対策や京急シールドへの影響検討にあたっては、既に京急シールド防護対策や液状化対策を実施した隣接するL-T/Wの実績、現在整備中であるPFI事業区(国際線地区)の設計も考慮し総合的に判断する必要がある。液状化対策における設計のポイントを以下に示す(図2参照)。

- ① 転移表面(高さ制限)を考慮した対策工法の選定
- ② 既設構造物(旧護岸・L-T/W下軽量混合処理土(SGM))を考慮した対策工法の選定
- ③ 京急シールドへの影響を考慮した対策工法の選定
- ④ 施工時間制約に応じた対策工法の選定
- ⑤ フィレット部地盤改良の必要性検討

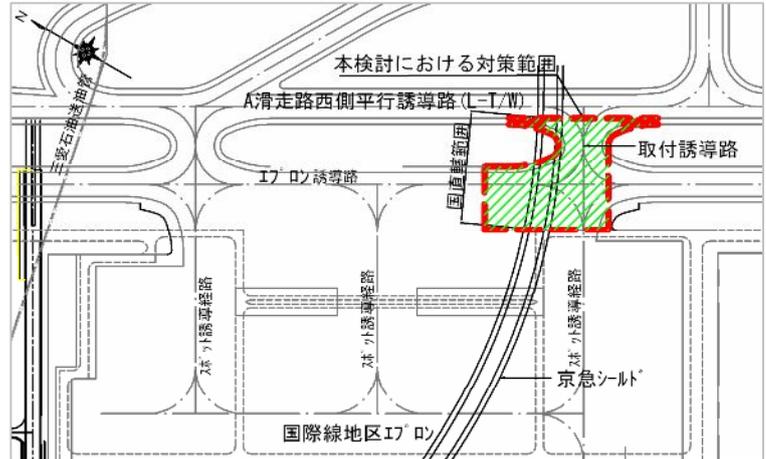


図1 設計対象範囲

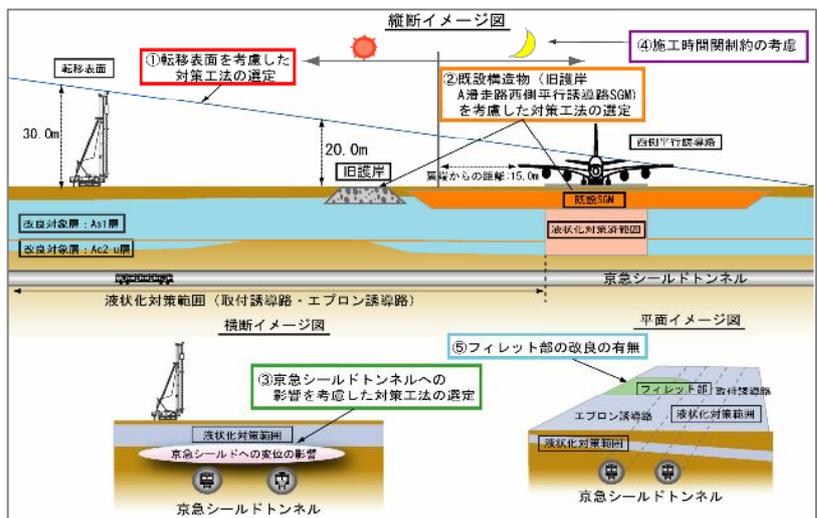


図2 液状化対策における設計のポイント

また、京急シールド対策における設計のポイントを以下に示す(図 3 参照)。

- ① 空港造成盛土による京急シールドへの影響評価
- ② 隣接工区(L-T/W 及び PFI 事業区)の実績・設計を考慮した検討

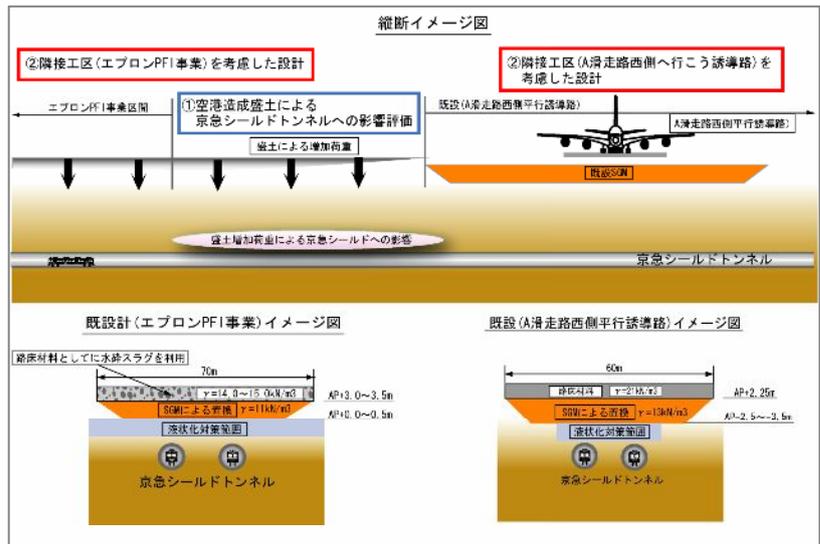


図 3 京急シールド対策における設計のポイント

## 2. 設計箇所の概要

### 2.1.地質の概要

誘導路直下の地質構成を図 4 に示す。当該地は、主に上位から埋土層(Bs 層)、沖積第一砂質土層(As1 層)、沖積第二粘性土層(Ac2 層)、沖積砂質シルト層(Asc 層)となっており、その下位には洪積砂層(Ds 層)や洪積粘性土層(Dc 層)の層序となっている。

沖積第二粘性土層(Ac2 層)の上部は、相対的に細粒分含有率が低く、塑性指数も小さい傾向にある。これらの土性は、工学的にも液状化や圧密特性に差異を及ぼすことが考えられるため、本検討においては土性に応じて Ac2-u 層と Ac2-l 層に区分し地質構成を設定した。地質区分手法は IP、Pc、Fc 等に着目し表 1 に示す基準により地質構成を決定した。

地質の工学的特性としては、沖積粘性土層が洪積層に比べ過圧密比が低いことが予想され、盛土に伴う増加荷重による圧密沈下が懸念された。また、地下水位以下の沖積砂層は深度が浅いことから液状化の懸念がされた。

表 1 As1 層・Ac2-u 層・Ac2-l 層の地質区分基準

地層境界	判定基準
As1 層と Ac2-u 層の境界	・土の工学的分類に従い $F_c < 50\%$ を As1 層とした。
Ac2-u 層と Ac2-l 層の境界	・特に相関の強い $IP < 25$ 、 $P_c < 30$ を第 1 基準とした。 ・IP、Pc による第 1 基準で区分層が異なる場合は $F_c < 80$ 及び柱状図の記事を参照し適している地質区分を推定し、これを第 2 基準とした。

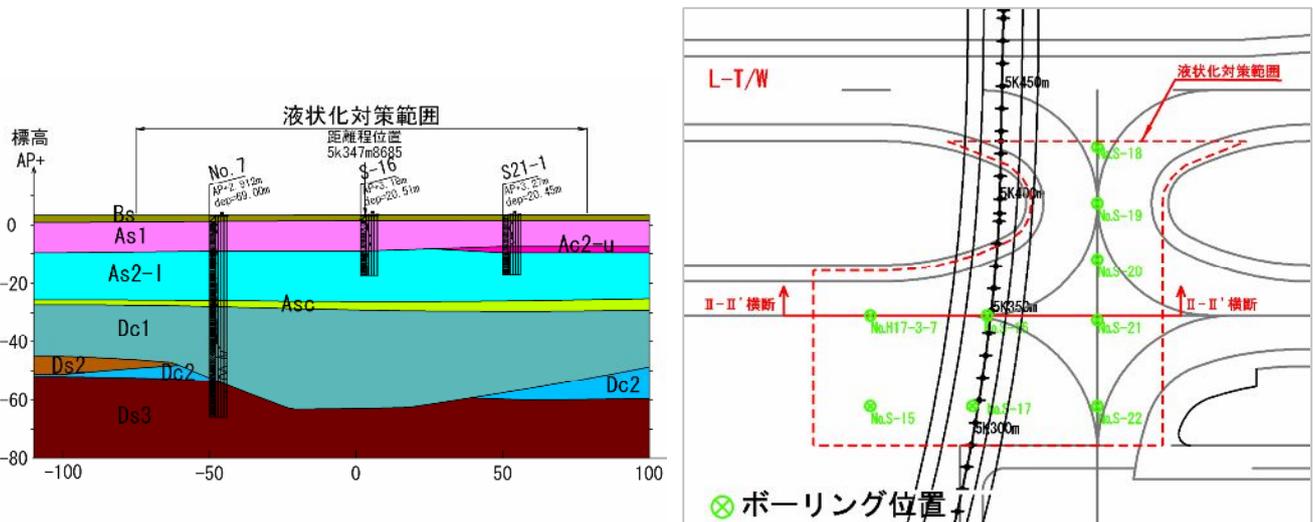


図 4 対象地域の代表地質断面(II-II' 断面)

## 2.2 取付誘導路周辺施設の設計概要と構造物

取付誘導路は図5に示すとおり東側はL-T/W 既設地盤改良と接し、西側はPFI事業と接している。東側のL-T/Wでは、京急シールドへの影響低減対策としてSGM工法、液状化対策としてCDM工法及びSCP工法が既に施工されている。一方、西側のPFI事業では、京急シールドへの影響低減対策としてSGM工法が計画されている。

また、取付誘導路設計範囲内には、幹線排水路が計画され、旧護岸が存在している。

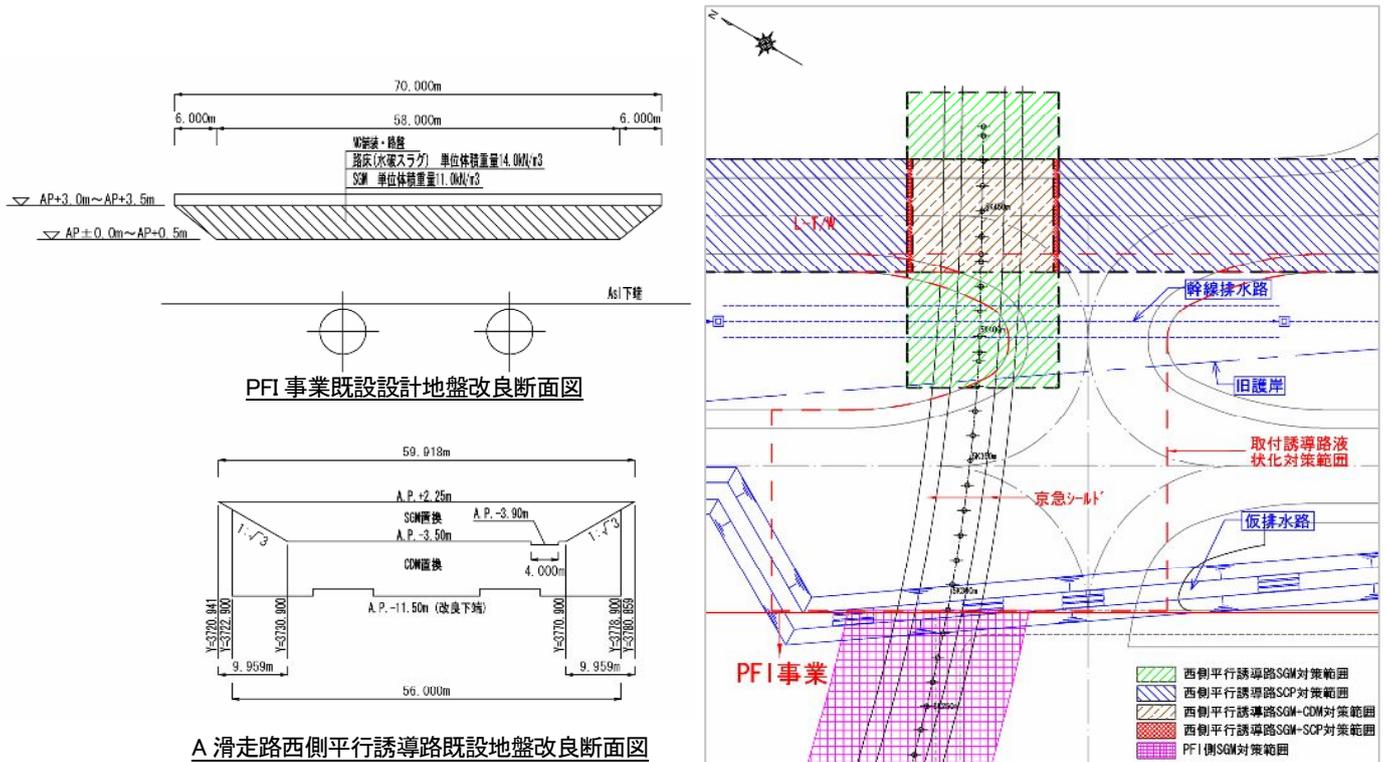


図5 取付誘導路周辺の設計概要と構造物

## 3. 液状化対策検討

### 3.1.液状化対策検討結果の概要

詳細な検討手法については、参考論文<sup>※1</sup>に示すとおりである。ここでは検討手法の概略を以下に示す。検討では、液状化対策の基本思想と設計の概要を整理し、取付誘導路の耐震性能は「空港土木施設の耐震設計指針(案)」<sup>※2</sup>により設定した。検討は「埋立地の液状化対策ハンドブック」<sup>※3</sup>に基づく評価手法の整理を行い、「二次元有効応力地震応答解析」・「FLIPDIS」・「石原・吉嶺による推定方法」による性能評価を行った。

無対策時の液状化判定結果より、取付誘導路直下においてはAs1層及びAc2-u層が液状化することが判明したが、以下の理由により本検討においては対策を実施する層はAs1層のみとした。

Ac2-u層については、細粒分が多く改良効果があまり期待できない可能性があり、工費を安くする観点から液状化対策を実施しないこととした。液状化層であるAc2-u層を対策しないことによる空港機能への影響評価・検討の結果、地震後の許容変形量(誘導路最大勾配3%以下)を満足することから、対策の必要性が無いことが判明した。

一方、対策を実施するAs1層については、「埋立地の液状化対策ハンドブック」による評価を行い、適切な改良仕様を決定した。これらの結果をもとに取付誘導路直下における液状化対策範囲を設定し対策工法の選定を実施した。

### 3.2.対策工法の選定

#### 3.2.1 施工ブロックの設定

施工ブロックの設定にあたっては、以下の施工上の制約条件に留意し設定した。(表 2 参照)

- ① 転移表面による施工高さの制約
- ② L・T/W を通行する航空機による制限(夜間施工)
- ③ 京急シールドに対する近接施工の影響(変位抑制が必要)
- ④ 既設 SGM 軽量盛土部において改良体を施工(削孔)可能な工法選定
- ⑤ 旧護岸の捨石に対し、施工が可能な工法

これらの施工条件に留意し設定した施工ブロックを図 6 に示す。

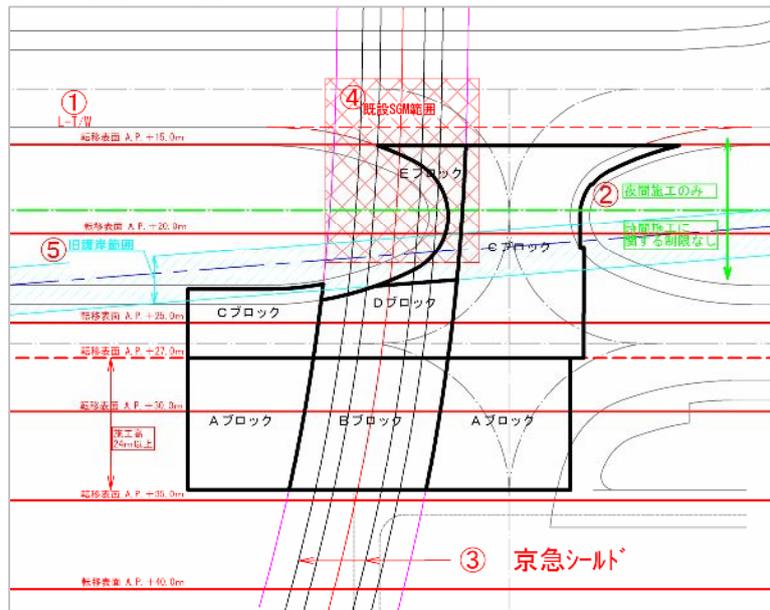


図 6 施工ブロックの設定

表 2 施工制約条件と施工ブロック

制約条件	A ブロック	B ブロック	C ブロック	D ブロック	E ブロック
① 高さ制限	○ 27m 以下	○ 27m 以下	○ 15m 以下	○ 23m 以下	○ 15m 以下
② 夜間施工	×	×	○	×	○
③ 変位抑制	×	○	×	○	○
④ SGM の削孔	×	×	○	×	○
⑤ 旧護岸の削孔	×	×	○	×	○

凡例 ○:制約の必要有り、×:制約の必要無し

#### 3.2.2 液状化対策工法の 1 次選定

液状化対策工法の 1 次選定にあたっては密度増大(締固め)工法・固結工法・過剰間隙水圧消散工法・地下水位の低下工法の 4 工法を比較選定した。各ブロックにおいて制約条件や経済性を考慮し総合的に判断した。

1 次選定結果を表 3 に示す。過剰間隙水圧消散工法及び地下水位低下については透水性・ランニングコスト等の観点から採用しないこととした。

選定の結果 A ブロックにおいては転移表面の関係から CPG 工法及び深層混合処理工法(機械攪拌工法)を、B ブロックにおいては京急シールドへの影響を考慮し低変位型高圧噴射及び浸透固化処理工法を、C ブロックにおいては経済性及び転移表面の関係から CPG 工法を、D ブロックにおいては京急シールドへの影響を考慮し低変位型高圧噴射及び浸透固化処理工法を、E ブロックにおいては SGM 掘削による影響を考慮し浸透固化処理工法をそれぞれ選定した。

表3 液状化対策工法の1次選定結果

原理	代表的な工法	取付誘導路				
		Aブロック	Bブロック	Cブロック	Dブロック	Eブロック
密度増大 (締固め) 工法	サンドコンパクションパイ ル工法(SCP工法)	施工機械が標準で30mであるため、施工は不可×				
	静的圧入締固め工法 (CPG工法)	施工可能○	施工時変位は 発生×	施工可能○	施工時変位は発生するため、不可 ×	
固結工法	深層混合処理工法 (機械攪拌工法)	施工機械が標準 で24mため、施 工可能○	施工時に変位 が発生すること から×	施工機械が24m以上であるため各ブロックの高さ制限 において施工することは不可×		
	深層混合処理工法 (高圧噴射工法)	機械攪拌に比べ 高価なため、除 外×	低変位型の工 法を用いること で施工可○	静的圧入締固め 工法に比べ高価 ×	低変位型の工 法を用いること で施工可○	既設SGM・捨石 の強度低下によ り除外×
	浸透固化処理工法	機械攪拌に比べ 高価×	施工可能 ○	経済性で高価な ため除外×	施工可能○	
過剰間隙水 圧消散工法	グラベルドレーン工法	地盤の透水係数が $10^{-4}$ cm/s程度と透水性が低く、地震時の間隙水圧の速やかな消散が困難 ×				
地下水位の 低下	止水壁:地中連続壁工法、 鋼矢板工法、SMW工法	地下水位低下のためのランニングコスト、圧密沈下の発生による オーバーレイ回数の増加等が懸念されるため、不可×				
評価		CPGおよび機械 攪拌(単軸)工法 より選定	低変位型高圧 噴射および浸 透固化処理工 法より選定	CPG工法を選定	低変位型高圧 噴射および浸 透固化処理工 法より選定	浸透固化処理 工法を採用。

3.2.3 液状化対策工法の2次選定

各ブロックにおける液状化対策工法の比較表を表4、表5に示す。Aブロックにおいては経済性によりスラリー系機械攪拌工法とし、Bブロック及びDブロックにおいては経済性により低変位型高圧噴射工法(Ldis-Dy工法)を選定した。Cブロック及びEブロックについては1次選定次においてCPG工法及び浸透固化処理工法を選定している。

表4 Aブロックにおける液状化対策工法選定

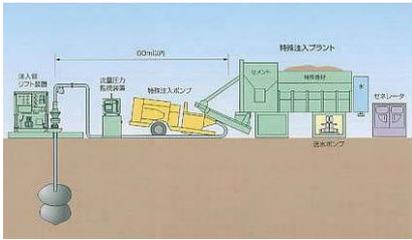
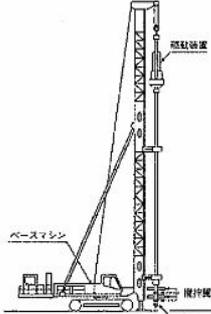
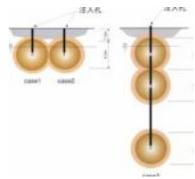
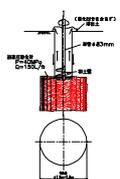
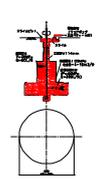
工 法	静的圧入締固め工法 (CPG工法)	深層混合処理工法 (スラリー系機械攪拌工法(単軸:φ1.6m))
配 置 図		
工法概要	・極めて流動性の低いモルタルなどの注入材を地盤中に圧入して固結体を造成し、この固結体による締固め効果で周辺の地盤を圧縮強化し、地盤の密度を増大させ地震時の液状化を防止する工法	・安定材をミキシングプラントでスラリー状にし、油圧ポンプで攪拌翼先端まで圧送し、改良範囲の軟弱土を地盤中の原位置で攪拌混合し、所定の強度のパイルを造成する工法
特徴	・特殊注入ポンプを用いた静的圧入により無振動・低騒音で地盤を締固めることが可能 ・コンパクトな設備なため狭い空間にでも作業可能 ・小口径ロッドにより削孔するので対象地盤の上部に硬い地盤が存在しても改良可能 ・注入量の変更により土層毎に最適な改良率を選定できるので経済設計が可能	・改良目的、構造物に応じて適切な仕様(改良形式・改良強度)の選定ができる ・セメント系固化材の適切な選定によりあらゆる土質に適用可能 ・対象地盤の土性に応じた安定材の配合と施工管理により所用の改良強度を確実に得ることが可能
経済性	1.47 (スラリー系機械攪拌工法を1.00とした場合)	1.00
評 価	×	○

表 5 B・D ブロックにおける液状化対策工法選定

原 理	薬液注入工	高圧噴射工法 単管工法 (グラウト噴射)	高圧噴射工法 二重管工法 (エア・グラウト噴射)	高圧噴射工法 三重管工法 (水・エア・グラウト噴射)
工 法	浸透固化処理工法	LDis-Dy 工法	FTJ-N 工法(エア使用)	D-RJP 工法
概 要	 <p>本工法は、液状化対策にて用いられる工法であり、恒久的な溶液型薬液を使用し、その薬液が土粒子間の水と置き換わりながら浸透し、地盤を固結させて液状化を防止する工法である。</p>	 <p>改良深度まで排土攪拌盤を付けた特殊ロッドを貫入し、改良材スラリーを高圧で噴射しながら引上げて、排土を行うとともに円柱状の改良体を造成する。</p>	 <p>FTJ の機械式攪拌翼の先端から固化材とエアを噴射することにより、大きな断面の造成ができる。さらに、2 流線スラリー噴射により高速度施工を行うため、工期の短縮が可能。</p>	 <p>改良深度まで三重管ロッドを貫入後圧縮空気を添わせた水と改良材スラリーを高圧で噴射しながら回転引上げし、余分なスライムを排出して円柱状の改良体を造成する。</p>
改良径	浸透径: $\phi 2.7\text{m}$	$\phi 1.2 \sim 1.9\text{m}$	$\phi 1.4 \sim 2.0\text{m}$	$\phi 3.1 \sim 3.5\text{m}$
施工深度	20m 程度(液状化対象層)	20m(最大 35m)	10m(最大 21m)	30m(最大 40m)
削孔能力	玉石・岩盤等	粘: $N \leq 5$ 砂: $N \leq 20$ (平均値, $N=30$ 程度の実績有り)	粘: $N \leq 5$ 砂: $N \leq 20$	玉石・硬質粘性土・土丹等
改良対象地盤	砂質土(液状化対策土)	粘: $C \leq 70\text{kN/m}^2$ 砂: $N \leq 20$ (平均値)	粘: $C \leq 50\text{kN/m}^2$ 砂: $N \leq 30$ (平均値)	粘: $N \leq 5$ ( $C \leq 50\text{kN/m}^2$ ) 砂: $N \leq 100$
上空制限	5.0m(ロータリーパーカッション使用)	5.5m 以上	3.0m 以上(6.0m)	5.0m 以上
経 済 性	2.10	1.00	1.32	1.78
評 価	×	○	×	×

(高圧噴射工法単管工法を 1.00 とした場合)

### 3.3.近接施工影響範囲及び改良余幅の検討

#### 3.3.1.スラリー系機械攪拌工法による京急シールドへの影響(Aブロック-Bブロック)

スラリー系機械攪拌工法の近接施工による影響範囲は、改良下端から  $45^\circ$  程度と考えられている。A・B ブロックの境界については、京急シールド端部における改良上端から  $45^\circ$  で下げたラインが改良下端深度と交差する範囲(京急シールド端部から 10m)を、低変位型高圧噴射工法(B ブロック)と設定した(図 7)。

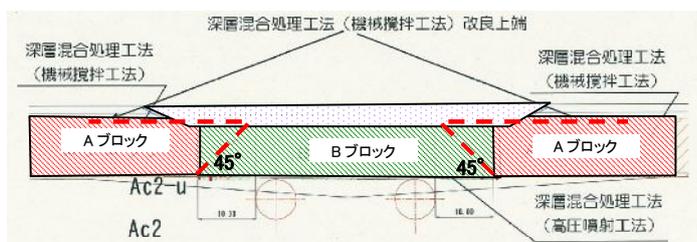


図 7 京急シールドトンネルへの影響(1)

#### 3.3.2.CPG 工法による京急シールドへの影響(Cブロック-Dブロック-Eブロック)

CPG 工法と低変位型高圧噴射工法が接する部分については、図 8 に示すように既往の施工実績に基づき、CPG 工法による変位量が 0 となる範囲である 10m を低変位型高圧噴射工法の対策範囲とした(図 9)。同様に浸透固化処理工法採用区間についても CPG 工法による変位量が 0 となる範囲 10m を浸透固化処理工法の対策範囲とした(図 10)。

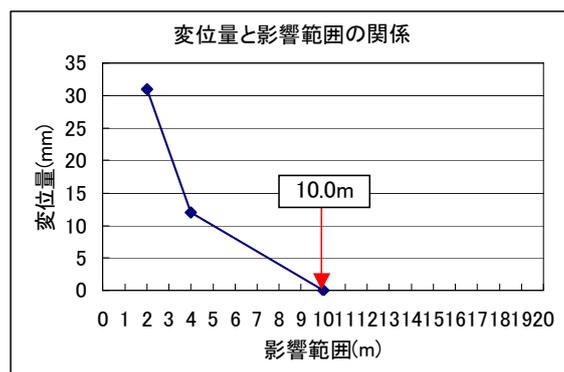


図 8 CPG 工法による発生変位量と影響範囲の関係<sup>※3)</sup>

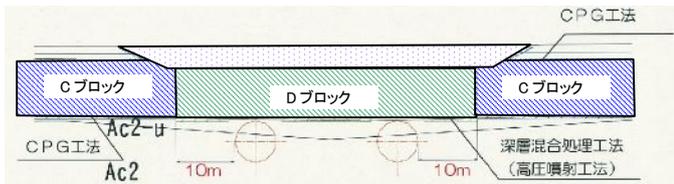


図9 京急シールドトンネルへの影響(2)

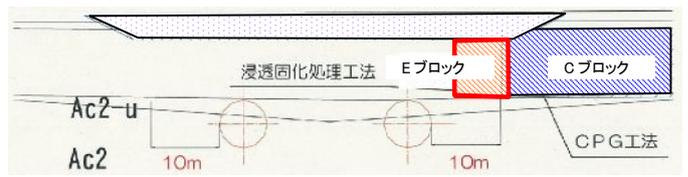


図10 京急シールドトンネルへの影響(3)

### 3.3.3.改良余幅の検討

深層混合処理工法(機械攪拌工法、高圧噴射工法)を採用するA・B・Dブロックについては、液状化対策の対象となる誘導路範囲直下のみを改良することとするが、締固め工法であるCPG工法を採用するCブロックについては、地盤改良範囲および非改良範囲の境界部における過剰間隙水圧の伝播の影響を考慮する必要がある。図11の「三角形ACDの部分」は、安定性が低下するため液状化する(参考文献<sup>※3</sup>)と考えられていることから、CPG工法施工範囲の外周部においては、余改良幅として液状化対策層厚に対して改良下端から30°の範囲を余改良幅として設定した。

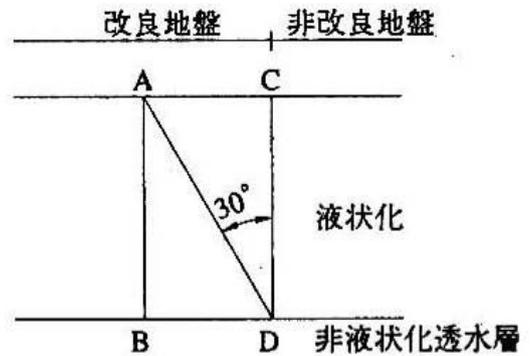


図11 改良地盤が軟化する範囲

### 3.3.3.液状化対策工地盤改良設計図

最終的に決定した地盤改良設計図を図12に示す。

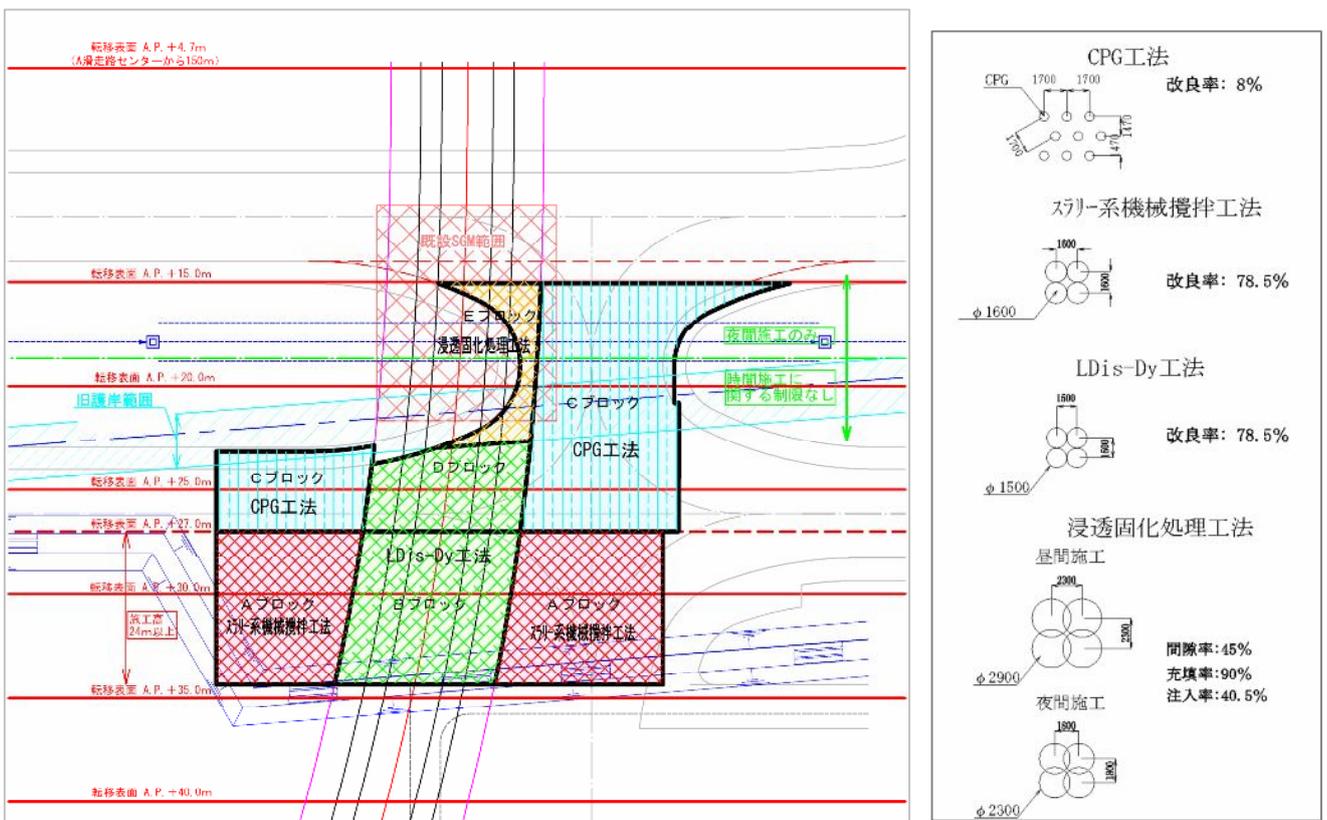


図12 液状化対策工地盤改良設計図

## 4. 京急シールド影響検討

### 4.1.京急シールド影響検討方法

#### 4.1.1 検討の目的

国際線地区に計画する取付誘導路部分は、盛土に伴う圧密沈下の影響により京急シールドに沈下等が生じることが懸念される。このため、列車運行に支障を生じさせず、かつ、京急シールドの構造的な安全性も確保した施工とする必要がある。よって、取付誘導路建設による京急シールドへの影響を定量的に予測・評価し、列車運行の安全性及び京急シールドの構造的な安全性に対する検討を行った。

#### 4.1.2 目標性能

##### (1)列車運行の安全性及び快適性に関する許容値

京急シールドにおける目標性能は、設計条件により表 6 のように示されている。これらの管理値は主に列車運行の安全性および快適性に関する指標である。

図 13 に示すように、鉄道トンネルに対する管理値(図 13 でいう管理値(1))は、軌道変状を観測するための第一の指標として用いるものである。軌道に対する管理値は(図 13 でいう管理値(2))、管理値(1)を超えた場合にトラックマスターによる計測で確認する軌道の変状量であり、軌道の相対変位により示された管理値である。

したがって、本検討にあたっては、軌道の相対変位に特に着目して列車運行の安全性および快適性を確保していくこととした。

表 6 管理値

項目	管理値
上下方向	構造物の挙動で±3mm
左右方向	
水準狂い	3mm
高低狂い	3mm/10m

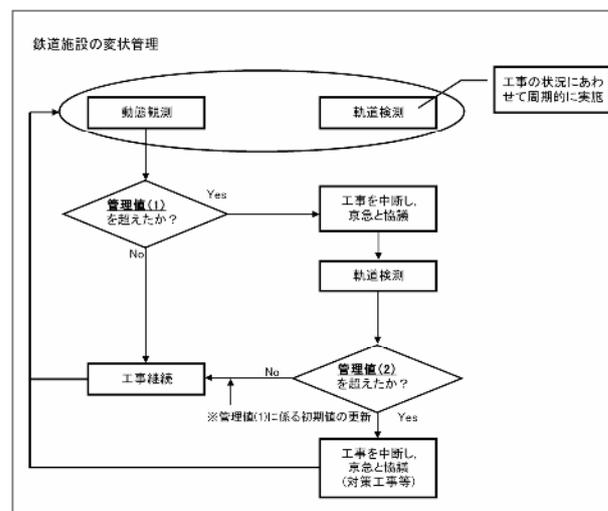


図 13 鉄道施設の変状管理のフロー

##### (2)京急シールドの構造的な安全性に関する許容値

京急シールドに対しては縦断方向及び横断方向についてそれぞれ検討を行った。構造的な安全性に関する許容値はそれぞれ以下のように設定した。

#### 【縦断方向における許容値の設定】

一次覆工：原設計に準じて継手板の許容応力度から定まる許容曲げモーメント  $M_a=5,250\text{kN}\cdot\text{m}$  とする。

二次覆工：二次覆工に関する許容値は鉄筋の長期許容応力度 ( $\sigma_{sa}=200\text{N}/\text{mm}^2$ ) から定まる許容曲げモーメント  $M_a=6,972\text{kN}\cdot\text{m}$  とする。

\*ただし、現状の二次覆工にひび割れが発生していること、ひび割れはトンネルの長期的な耐久性に影響を与えることを考慮して、以下に示す目安値を設定して改良範囲の検討を実施することとする。

●目安値の設定…二次覆工に生じるひび割れが京急シールドの耐久性に与える影響は小さくない。またひび割れの発生に伴う鉄筋の腐食は、鉄筋の体積の膨張を生じ覆工の剥落を生じる可能性もある。これらのことから、長期的な現象である圧密沈下に対する目安値は以下のとおり設定する。

・原則として、解析上ひび割れを生じない曲げモーメントである  $M_c=6517\text{kN}\cdot\text{m}$  を上回らないような改良範囲を検討する。

・ひび割れ発生モーメントである  $M_c=6517\text{kN}\cdot\text{m}$  を局所的に上回る場合には、ひび割れ幅の照査を実施し、耐久性等に影響があるかについて検討する。京急シールドの耐久性に影響がない許容ひび割れ幅は、「トンネル標準示方書、シールド編」<sup>\*4</sup> に準じて算定し、 $w_a=0.26\text{mm}$  とする。

・ただし、現状の京急シールドの測量結果から、すでに解析上大きなひび割れを生じていると考えられる箇所については、現状の値を上回らないように改良範囲を検討する。

### 【横断方向における許容値の設定】

一次覆工：原設計に準じてコンクリートの許容圧縮応力度  $\sigma_{ca}=17\text{N}/\text{mm}^2$ ，鉄筋の許容引張応力度  $\sigma_{sa}=140\text{N}/\text{mm}^2$  とする。

二次覆工：ひび割れ発生モーメント以下とする。なお、京急シールド横断方向には軸力が発生しているため横断面の位置によりひび割れ発生モーメントが異なる。

### 4.1.3 検討のフロー

京急シールド影響検討にあたっては図 14 に示すフローにより行った。解析に必要な土質・構造条件等を整理し地盤解析を実施する。地盤解析結果をもとにシールド応力照査として構造物の応力照査・水準狂い・高低狂い・軌道狂い・平面性狂い・地震時検討・リバウンド検討をそれぞれ行い、京急シールドの安定性を評価した。

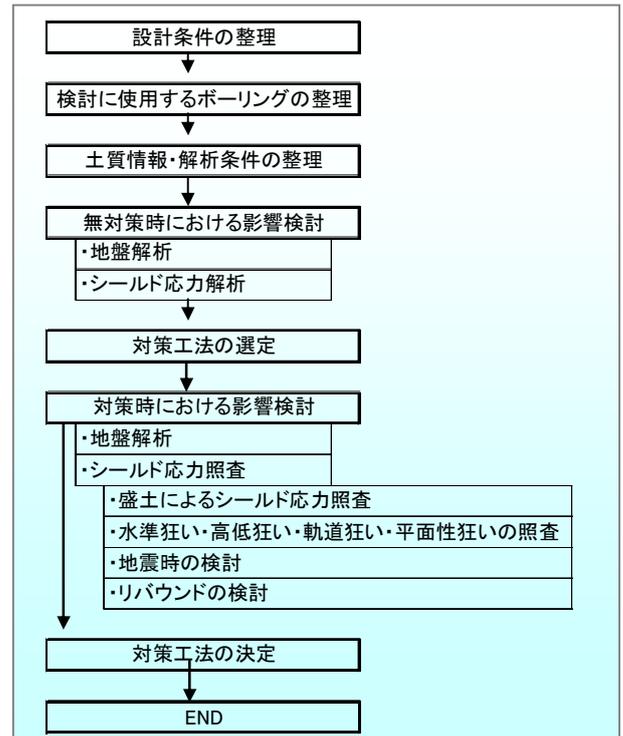


図 14 京急シールド影響検討フロー

### 4.2. 検討断面

検討を実施する京急シールド縦断方向及び横断方向の地質図を図 15、図 16 に示す。

縦断方向については、当設計範囲(5K289m7056～5K433m0456)の他に PFI 側設計条件(連続性の確認)及び L-T/W における条件(図 18 参照)を加味し決定した。したがって検討断面は PFI 側を立坑位置(4K800m)からとし、L-T/W は境界条件として十分にとれる範囲として 5K600m までとし、モデル内には PFI 側設計条件(設計 SGM、設計 CDM)及び L-T/W の設計条件(既設 SGM、既設 CDM)をそれぞれ反映しモデル化を行った。

横断方向については、最もシールドへの増加応力が大きい箇所とする。当設計範囲(5K289m7056～5K433m0456)においては 5K310m 地点において増加荷重が  $51.2(\text{kN}/\text{m}^3)$ (無対策時)と最も大きいことから、検討横断位置と設定した。

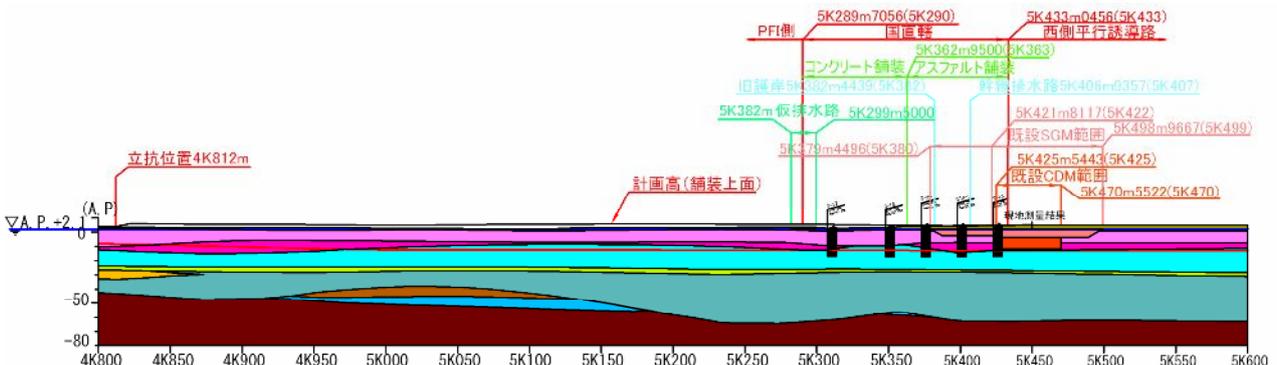


図 15 京急シールド縦断方向モデル図

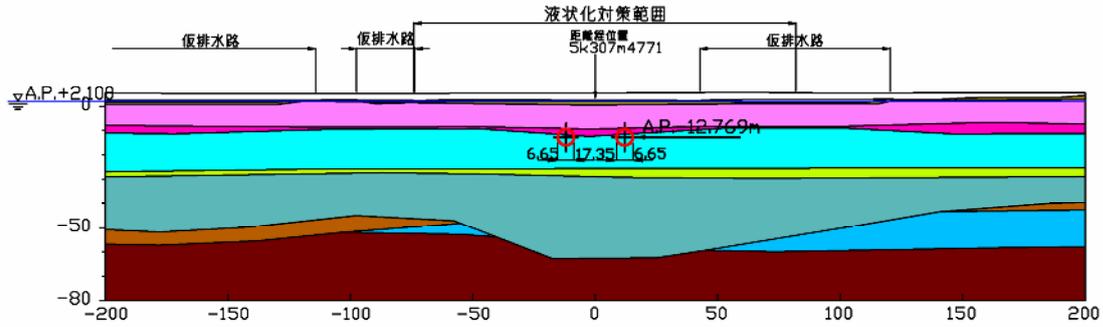


図 16 京急シールド横断方向モデル図

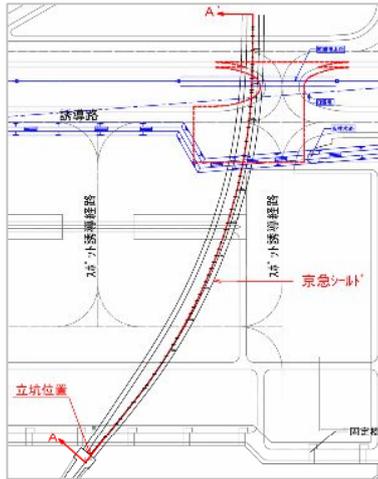


図 17 検討位置図

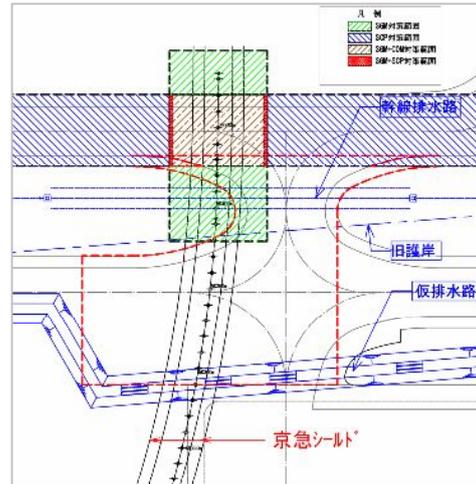


図 18 周辺の設計条件

### 4.3.地盤解析手法

地盤解析においては弾性解析・弾塑性解析・弾粘塑性解析などの解析手法があり、目的に応じて解析手法を選択する必要がある。本検討において最も重要な要因は増加荷重による圧密沈下である。圧密沈下の特性として、時間に応じた排水に伴う沈下(一次圧密沈下)や、土粒子構造の変化に伴う沈下(二次圧密沈下)が挙げられる。施設機能の確保年数を供用後50年とした場合、圧密沈下は一次圧密のみならず、二次圧密まで考慮し評価する必要がある。このように長期に渡り、圧密時間及び圧密特性を評価する場合は、そのいずれの評価も可能な弾粘塑性解析が適している。

各地盤解析手法の比較表を表7に示す。本検討においては、圧密解析を弾粘塑性解析(プログラム名: DACSAR)にて解くことが最も適していると判断し、用いることとした。

表 7 地盤解析手法の比較

解析手法	概要	本検討への適応
弾性解析	有限個の各要素が線形の弾性挙動を示すとして、剛性マトリクス計算を行うものである。これは軟岩等弾性領域の広い物性を持つ地盤あるいは比較的微小変位を扱う場合は良い結果を得ることができる。	対象が粘性土であり、比較的大きな塑性領域を考慮し、大きなひずみ領域を取り扱う必要があることから不適切と判断。
弾塑性解析	弾性解析では考慮できなかった土の塑性領域を考慮でき、塑性変形を算出できる。応力( $\sigma$ )-ひずみ( $\epsilon$ )曲線として、直線を組合せて表現しようとするバイ・リニアやトリ・リニア、また弾性領域に直線を用い塑性領域を曲線で表現しようとするもの等、様々な方法が考案されている。	塑性領域を考慮できる分、弾性解析よりも正確に粘性土の挙動を評価できるが、構造の変化に伴う二次圧密を考慮することできない。本検討では、供用後50年を対象としていることから、二次圧密まで考慮する必要があることから不適切と判断。
弾粘塑性解析	土の粘性を考慮でき変形量の経時的挙動を解析できるもので、二次圧密沈下やクリープ変形を解析できる。	二次圧密を含めた粘性土の挙動を正確に再現できることから適切と判断。

### 4.4.シールド応力照査手法

#### 4.4.1 縦断方向における応力照査手法

京急シールド縦断方向の検討は、一次覆工と二次覆工を構造部材として評価するために、2本のはりを重ね合わせた

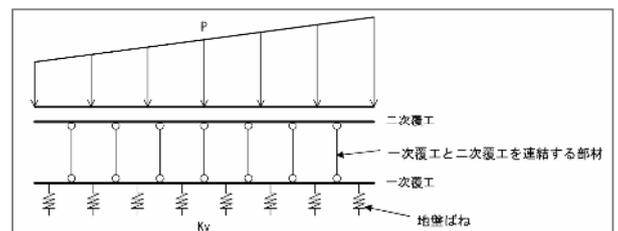


図 19 縦断方向のモデル図

はりばね系構造モデルを用いて実施した。解析手法は以下により実施した。

- ・図 19 に示すはりばね系の構造モデルに、京急シールドの現況の変位を作用させる。
- ・地盤の弾粘塑性 FEM 解析より、各年代における京急シールド位置の地盤変位を抽出する。
- ・抽出した変位のうち最も大きい影響を与える供用後 50 年の地盤変位を、ばね先変位としてはりばね系構造モデルに静的に作用させ、セグメントおよび二次覆工の断面力と変位を算出する。
- ・構造的な安全性の照査(応力度や耐力に関する照査)と列車運行の安全性に関する照査(軌道の照査)を実施し、盛土が京急シールドに与える影響を判定する。
- ・また盛土による圧密沈下の影響は、京急シールドに恒久的に作用するものである。このため、圧密による京急シールドの沈下量に、地震時の影響を同時に考慮して照査をする。地震時の照査手法は原設計に準じることとする。

#### 4.4.2 横断方向における応力照査手法

京急シールド横断方向の検討は、千鳥組されたセグメントリングと剛性が一様である二次覆工を評価するために、2 層のはりばねモデルを用いて実施した(図 20)。解析手法は以下により実施した。

- ・現況の荷重をはりばねモデル一次覆工に作用させる。なお、二次覆工は一次覆工の組み立てから一定の時間後に打設されるとの施工過程を考慮して、二次覆工リングを考慮しないこととする。
- ・二次覆工リングを設置する(これ以降の京急シールドの挙動には二次覆工の剛性が影響するため)。
- ・地盤の弾粘塑性 FEM 解析より、各年代における京急シールド位置の地盤変位を抽出する。
- ・抽出した変位のうち最も大きい影響を与える供用後 50 年の地盤変位を、ばね先変位としてはりばねモデルに静的に作用させ、セグメントおよび二次覆工の断面力と変位を算出する。
- ・構造的な安全性の照査(応力度や耐力に関する照査)と列車運行の安全性に関する照査(軌道の照査)を実施し、盛土が京急シールドに与える影響を判定する。
- ・なお、京急シールドへの地震時の影響は、原設計に準じて考慮しないこととする。

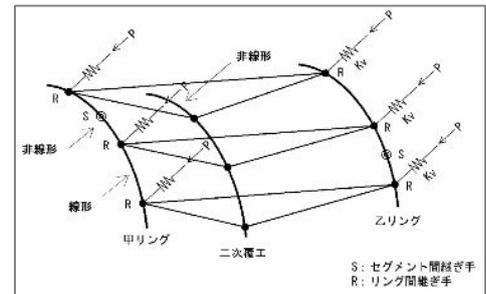


図 20 横断方向のモデル図

#### 4.5 解析結果

無対策時においては、縦断方向では取付誘導路直下において変形の曲率の大きな 2 箇所(5k290m、5k310m 地点)の部位で二次覆工にひび割れが生じ、京急シールドトンネルの安全運行上・構造上ともに許容値を満足しないことがわかった。横断方向ではセグメントリングのコンクリート圧縮応力度、鉄筋の引張応力度が許容値を超え、また、二次覆工についてもひび割れが生じることがわかった。

そのため、羽田空港での実績があり、施工性及び経済性に優れている軽量盛土工法による対策設計を実施した。

京急シールドに対し最も適切な対策仕様について検討した結果を図 21 及び図

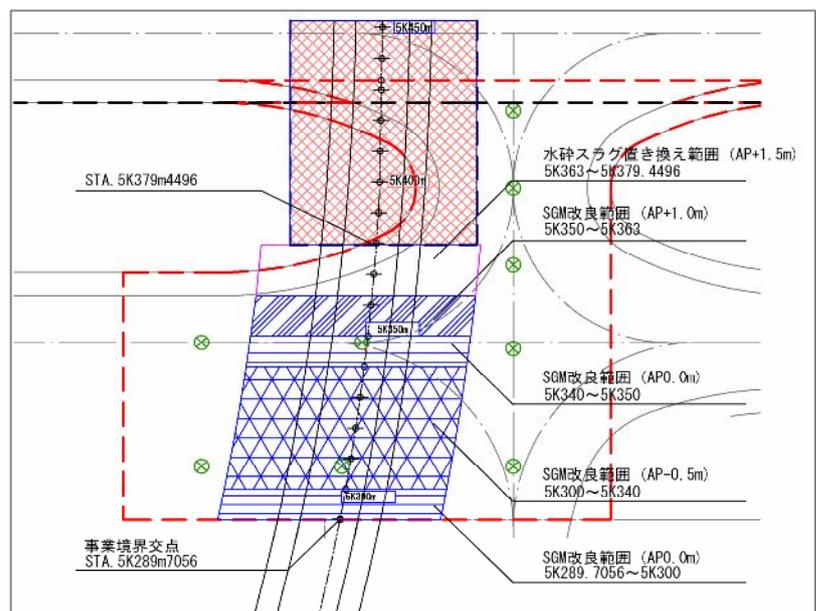


図 21 最適な対策仕様(1)

22に示す。縦断方向の解析結果を図23及び図24に示す。縦断方向の解析結果では一次覆工及び二次覆工ともに許容値を下回っており、対策仕様により京急シールドの安全性が確保されたことがわかる。なお、横断方向やその他の検討(高低狂い・通り狂い・縦断勾配・水準狂い・平面性狂い)についても同様に許容値を満足する結果となっている。

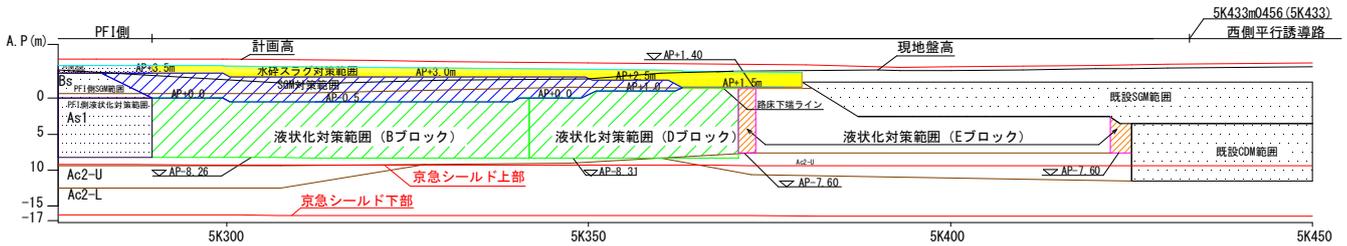


図22 最適な対策仕様(2)

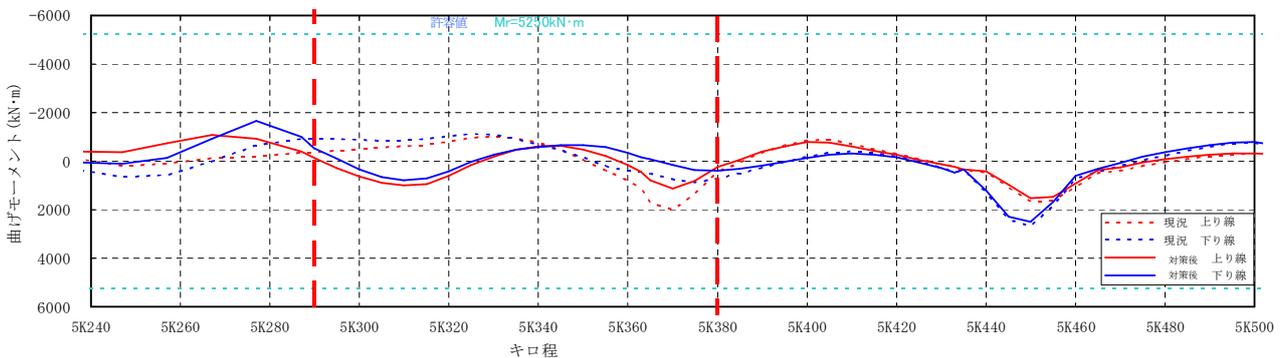


図23 縦断方向における解析結果(一次覆工)

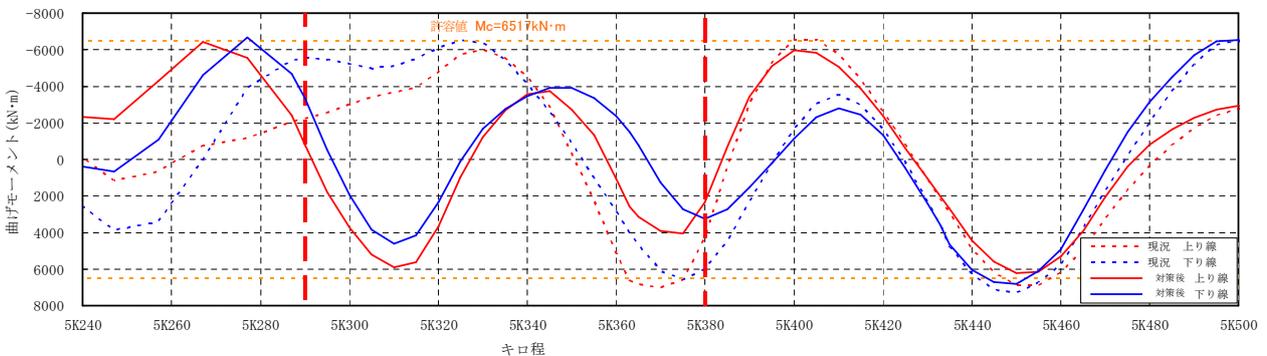


図24 縦断方向における解析結果(二次覆工)

## 5.あしがき

本設計では、取付誘導路の液状化対策及び京急シールド対策の検討を行った。液状化対策検討においては制約条件が多く、各種の対策工法を検討し、比較選定を行った。一方、京急シールド影響検討においては軽量盛土工法による京急シールドへの影響を評価し対策工法の提案を行った。

本設計事例が今後の設計手法の参考になれば幸いである。また本設計を実施するにあたっては横浜港湾空港技術調査事務所に多大な技術協力を頂いた。

- 1) 国際線エプロンにおける液状化対策設計～過剰間隙水圧消散に伴う沈下を考慮したエプロンの液状化対策仕様の決定～:東京国際空港再拡張事業技術報告会(第3回):平成19年7月
- 2) 空港土木施設の耐震設計指針(案):運輸省航空局;平成12年3月
- 3) 埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版):財団法人 沿岸開発技術研究センター;1997年8月
- 4) トンネル標準示方書(シールド編)・同解説:社団法人 土木学会;平成8年7月