



各種構造物の実例にみる地盤改良工法の選定と設計

3. 各種構造物における実例 3.2 道路構造物 (その2)

塚田 幸広 (つかた ゆきひろ)

建設省土木研究所施工研究室 室長

川井田 実 (かわいだ みのる)

日本道路公団試験研究所土工試験研究室

3.2.1 まえがき

3.2.2 道路の機能と地盤改良の基本的な考え方

3.2.3 道路盛土の実例にみる地盤改良工法の選定と設計

以上, 3月号掲載

3.2.4 道路構造物およびその周辺の実例にみる地盤改良工法の選定と設計

(1) 橋台に対する側方流動抑制および土圧軽減のための地盤改良¹²⁾

i) 概要

北陸自動車道と磐越自動車道が交差する新潟中央インターチェンジ (IC) は、信濃川と阿賀野川に挟まれた低湿地帯にあり、腐植土層および緩い砂層を挟む10 m程度の軟弱地盤に建設された。ICの立体交差を形成するためには橋梁となる箇所がでてくるが、軟弱地盤上の橋台は、水平抵抗が小さいため基礎杭の本数が多くなり、フーチングが橋軸方向に長くなるために、非常に大規模な構造物となる。これに対して、橋台に作用する側方流動圧および土圧を軽減して、橋台を小規模にし、トータルコストを低減するための試験施工が行われた。

工事箇所は、新潟中央ICの橋梁のうち、Cランプ橋の二つの橋台である。従来の設計であれば、橋台裏込めには通常の土を用いて、作用する土圧を求め、側方流動については、プレロードを行って地盤の強度増加を図ることで対処するが、この橋台の場合、橋台長が約24 mという大規模なものとなる。

ii) 工法の選定と設計

対策として、「裏込めの軽量化」と、「橋台と裏込めの分離」の2とおりを考えた。

軽量化については、軽量骨材による施工、コルゲートパイプ埋設による軽量化、発泡スチロールによる施工の3者を対象とした。地震時土圧の作用も考慮して試設計し、橋台および裏込めを合わせた工費と過去の施工実績から、発泡スチロールを採用した。さらに、橋台の全高、2/3高さおよび1/3高さを発泡スチロールとした場合について検討し、2/3とした場合が最も経済的となったので、これで施工した。また、残留沈下低減および一般盛土部との不同沈下抑制のため、6か月間プレロードを実施した。

橋台との分離は、維持管理スペースを考慮して離隔距離を2 mとし、急勾配法面をもつ盛土工法として、ジオシンセティックス補強土壁、鋼製補強材による補強土壁およびふとんかご積み上げの3者を比較し、地震時の安定性、耐久性および経済性からジオシンセティックス補強土壁を選択した。設計引張り強さ4.2 tf/mのものを、6.5 mの長さで8段敷設した。盛土のすべり安定性を確保するため、基礎地盤には深層混合処理（粉体噴射攪拌工法）を行うこととし、改良部と無処理部との段差緩和のため、改良率を徐々に低減するような工夫をした。橋台との隙間には、長さ8 m、厚さ45 cmの踏掛版を設置した。

以上の検討から、**図-3.2.11**に示す断面図のような構造となり、在来設計に比べて橋台長さは約半分に、全体

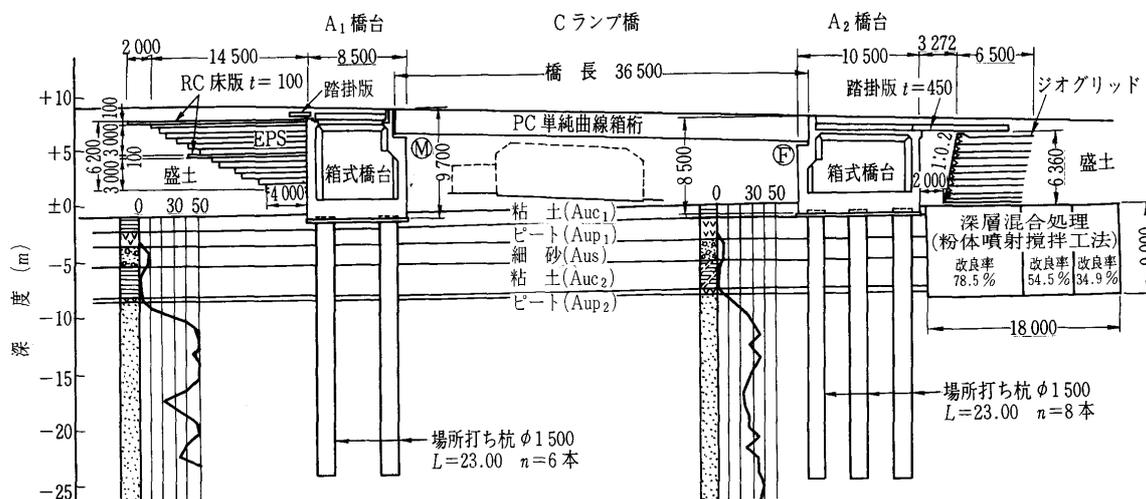
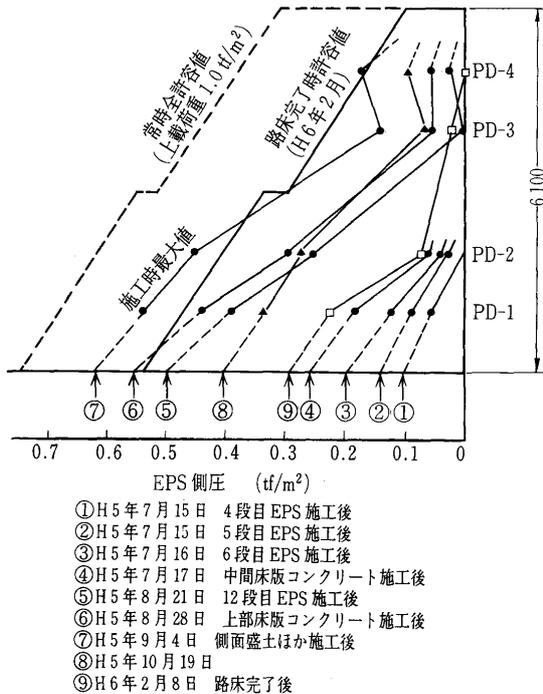
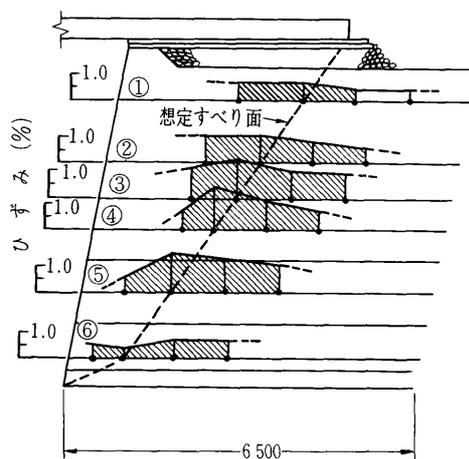


図-3.2.11 Cランプ橋断面図 (文献12)に加筆



図—3.2.12 橋台に作用する側圧¹²⁾



図—3.2.13 ジオシンセティックのひずみ分布¹²⁾

工費は約9割程度に低減できた。

動態観測を次のように実施した。まず、発泡スチロール側では、施工中に橋台に作用する水平方向の圧力を土圧計により測定した。図—3.2.12は各施工段階における側圧の推移を示している。施工途中に発泡スチロール背後の裏込めの転圧等が原因と思われる一時的に大きな値が計測されたが、そうした影響がなくなるにつれて減少し、最終的には0.3 tf/m²程度になっている。補強土については、補強材に作用するひずみを計測した。図—3.2.13はひずみの深さ方向および補強材の敷設方向の分布を示している。補強土壁完成時点で最大1%強のひずみが設計時の想定すべり面付近で発生しており、引張り力に換算すると約1 tf/mであった。

(2) 埋立地盤における道路擁壁、トンネル設置に伴う地盤改良の実例¹³⁾

i) 概要

本実例の羽田道路は、東京湾岸道路（一般国道357号）の一部であり、空港の沖合展開に合わせて計画・建設さ

れた道路である。構造的には新旧の滑走路下を619 mと734 mの二つの「羽田トンネル」で横断する構造となっていた。また、空港ターミナルを相互に結ぶ連絡道路と完全立体化を図るため随所にU型擁壁と逆T擁壁部が設置された。

ii) 地盤条件などの制約条件

本工事における特徴として、①標準部で幅100 m、トンネル部で約65 mという大断面の道路で特にトンネル、掘削部では大規模な地中構造物となる、②海岸線に近く地下水位が高い、③隣接する供用中の空港施設の機能を確保し航空機の安全運行を図りながら施工する必要があるなどが挙げられる。当該地区は、多摩川河口に位置し、昭和40年代頃より浚渫、または浚渫へどろの処分場として利用され、その後建設発生土の最終処分場として利用され陸地となった急造人工地盤である。特に表層部は自然含水比が高く泥土状を呈している。このような超軟弱地盤にボックス状のトンネルやU型擁壁を構築するに当たって幅70 m、深さ15 mの大規模掘削を行う必要があり、設計・施工に際して以下の項目を配慮した。

イ) 掘削幅が広いために土質性状の相違などによる

偏土圧や掘削に伴う偏土圧により山留め壁体に作用する荷重に不均一などが生じる。そのため、山留め架構を含む地盤全体の安定性を確保する必要がある。また、地盤掘削に伴い、山留めの変形が大きくなるとともに、山留め壁に発生する断面力も非常に大きくなる（鋼管矢板の剛性を大きくするだけでは対応できない）。

ロ) 掘削に伴う掘削底面の変形量が大きく、山留めが不安定になる。

ハ) 重機による施工に対応するトラフィカビリティを確保する必要がある。

二) 躯体の施工は平面的に分割施工となることから、トンネル躯体の自重や埋戻し土の重量による施工ブロックごとの不同沈下を低減する必要がある。

iii) 地盤改良の選定と設計

① 地盤改良の選定

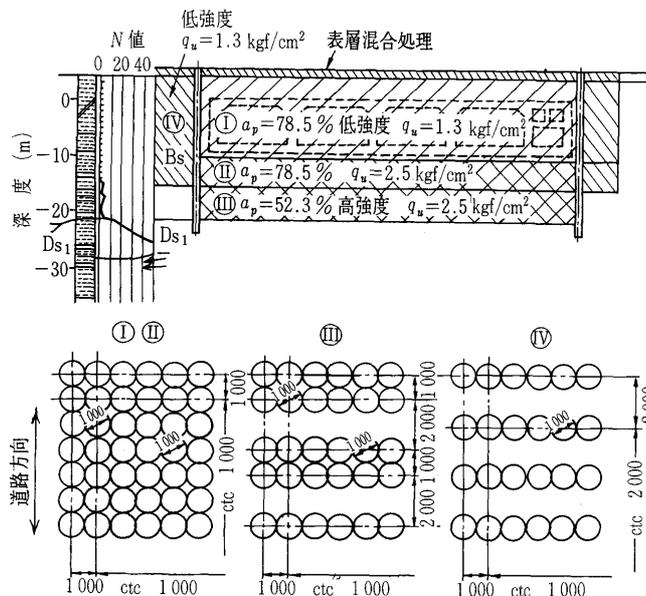
地盤改良の選定に当たって、トンネル、U型擁壁部の山留め部、底板部の改良には、要求強度、工期的制約および複雑な土質状態に対する改良の確実性などを考慮して深層混合処理工法（粉体噴射攪拌工法）が採用された。なお、地盤改良工法の選定に際し、試験施工や構造物の種類による沈下・安定計算に基づく詳細な検討を行っている。

② 地盤改良の設計

図—3.2.14に羽田第一トンネルの地盤改良断面を示すが、経済性、施工性を考慮して改良目的ごとに改良率、改良目標強度および改良体の配置を変え、以下の四つの改良パターンを設定した。

イ) 掘削部の床付け面直下5 mの範囲 (Ⅰ, Ⅱ) :

改良体自体は高い強度を有するが、周辺地盤が超軟弱のため、改良率を下げると地盤強度が不均一となり、山留め壁の安定性、掘削の施工性が著し



図—3.2.14 羽田第1トンネルにおける改良仕様¹³⁾
(深層混合処理工法の設計例)

く悪化する。そのため、改良率に重点をおいた設計を行った。

ロ) 床付け面直下5m以深(Ⅲ)：支持力の増強および沈下低減を目的として、高強度とするとともに改良率は低減させた。

ハ) 山留め背面(Ⅳ)：山留め背面の地盤改良範囲は、内部摩擦角 $\phi=0^\circ$ と設定し主働崩壊角に含まれる範囲とし、控え壁の効果を期待して改良率を低減させた。背面改良の効果は、二次元弾性有限要素法解析で確認した。なお、深層混合処理工法の設計では、施工に先立ち設計強度を満足するセメント量を決定するために室内配合試験を実施した。

③ 改良効果の確認と施工管理

超軟弱地盤での大規模掘削であることから、施工中の山留め壁および周辺地盤の挙動(変位, 応力など)を計測管理により把握して不測の事態に対処するとともに、地盤改良の効果を確認した(表—3.2.2参照)。鋼管矢板のひずみ計から求めた曲げモーメントを図—3.2.15に示すが、結果として、管理値を上回るような異常値もなく、また、ヒービングなどの兆候もなく工事が完成した。当該箇所は、既に完成し供用されている。

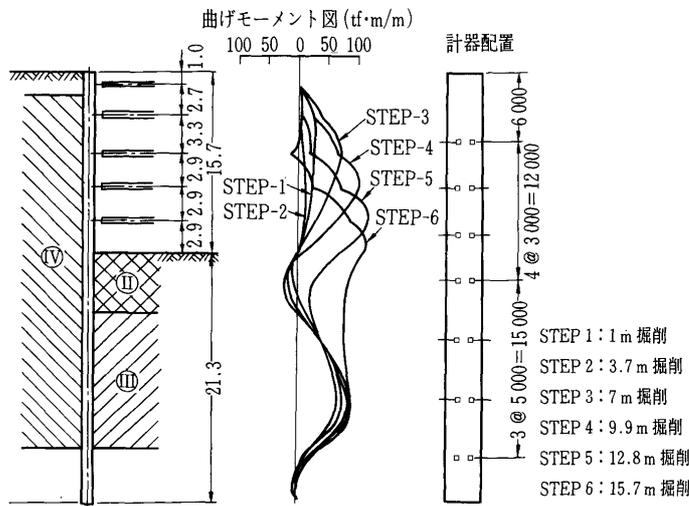
(3) カルバート箇所のプレロードにおける地盤改良

i) 概要

軟弱地盤上に設置するカルバートは、杭で支持すると道路面の不同沈下の原因となるため直接基礎とすることが一般的であり、カルバート自身の沈下抑制のためにプレロード工法が有効でよく行われる。プレロードは盛土で施工されることが多く、その下の地盤を改良するか否かは、盛土の安定性により決まる。また、プレロードは、本線盛土に先だて行われることから、試験盛土の役割も持っており、その後の対策検討に利用される。山形自動車道の酒田地区では、プレロード盛土の基礎地盤を無

表—3.2.2 計器配置の考え方(羽田トンネル)¹³⁾

計測項目	計器	方法	計器配置	
土留め壁の変位・変形	固定式傾斜計	自動計測	固定式と挿入式は、どちらも採用可能である。ただし、固定式傾斜計の設置間隔は掘削部2m、地中部2.5mを基本とする。	
		手動計測		
	挿入式傾斜計	手動計測		
土留め壁の外力	鋼管矢板応力	ひずみ計	掘削部3m、地中部5mピッチ	
	側圧	土圧計	自動計測 5mピッチ(前面, 背面)	
構造	間隙水圧	自動計測	5mピッチ(前面, 背面)	
	切梁温度	温度計	自動計測 切梁1段おきに設置	
切梁の応力	切梁軸力	ひずみ計	自動計測 各段の切梁の両端部(矢板付近)に設置(ひずみの誤差を少なくするため、ウェブの両側)	
	切梁温度	温度計	自動計測 切梁1段おきに設置	
中間杭	変位	沈下, 浮上り	レベル	手動計測 中間杭1本おきに鉛直変位を測定
地盤	内変位	沈下, 浮上り	層別沈下計	自動計測 掘削中央部で、床付け以深に3箇所
		地下水	間隙水圧	自動計測
周辺	変位	地表面沈下	沈下板	手動計測 鋼管矢板より、1.5m, 6.5m, 9.0m, 14.0mに設置
		地下水	地下水位	観測弁



図—3.2.15 鋼管矢板のひずみ計から求めた曲げモーメント¹³⁾

処理とした場合とサンドドレーン打設した場合とを比較し、その効果を把握した。

図—3.2.16は、プレロード箇所の代表的な土質柱状図である。中間に腐植土層を5m程度挟んだ粘性土と砂層とが互層になった地盤である。盛土は3箇所あり、それぞれの施工条件は表—3.2.3に示したとおりである。

ii) 地盤改良の効果

図—3.2.17は、3箇所の沈下の経時変化図である。盛土開始から400日程度の沈下量は320~390cmで、軟弱層厚(13.5m)の20数%、盛土高さの40%前後となっ

講座

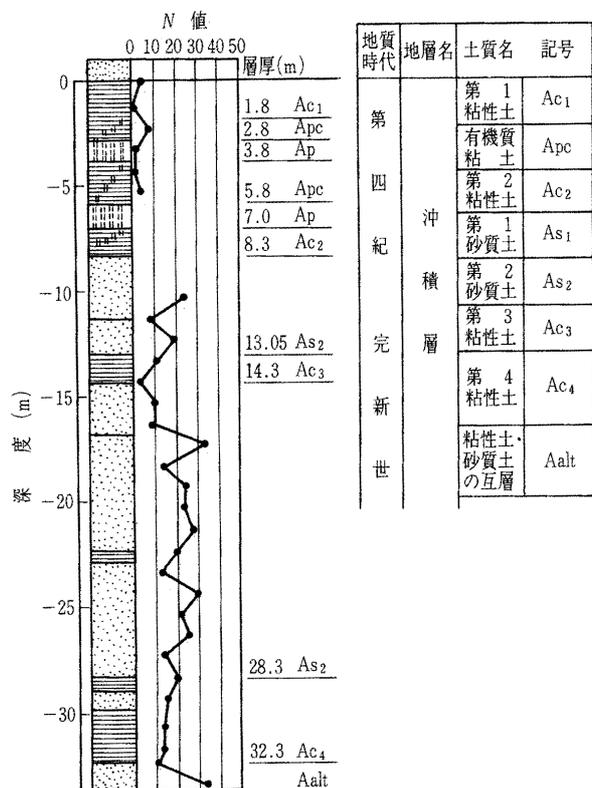


図-3.2.16 プレロード箇所の土質柱状図

表-3.2.3 プレロードの施工条件

ヤード No.	盛土高さ (m)	地盤改良	盛土速度 (cm/d)
1	10.6	サンドドレーン 正三角形 2mピッチ	5
2	7.4	なし	3
3	8.6	なし	5

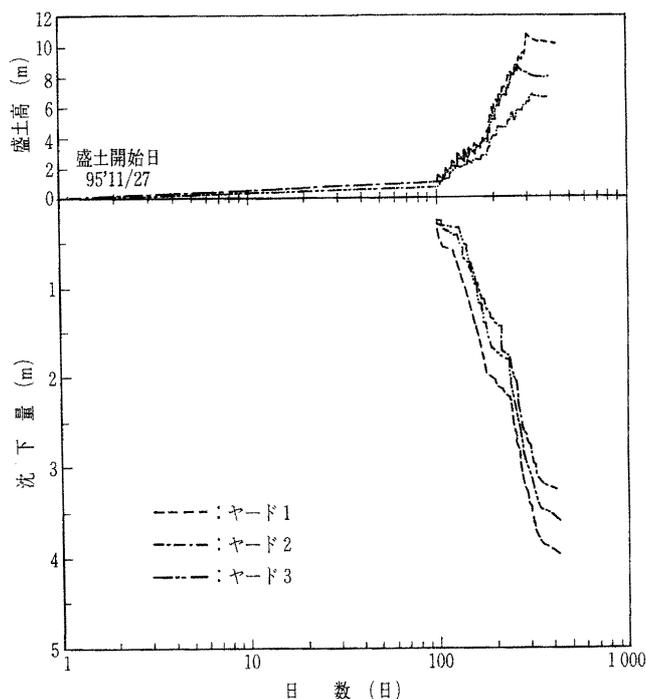


図-3.2.17 沈下の経時変化

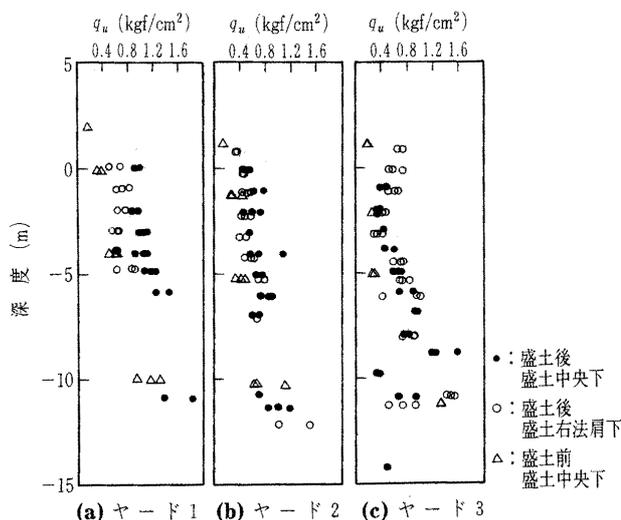


図-3.2.18 一軸圧縮強さの変化

ている。

図-3.2.18は、3箇所のチェックボーリングの結果から抜粋した一軸圧縮強さの変化を示している。盛土前の値と圧密圧力に多少の違いはあるが、盛土後に調査した強さの伸びは、サンドドレーン改良箇所が最も大きく、次いで盛土速度 3 cm/d の箇所、5 cm/d の箇所の順になっている。

図-3.2.19は、盛土立上がり後 2~4 か月経過時点での、過剰間隙水圧の深さ方向の分布を示している。中間砂層までの層内に 3~4 箇所埋設しており、層の中央深度付近で最大値を示している。過剰間隙水圧の値も、ドレーン改良箇所、盛土速度が遅い箇所、速い箇所の順に小さい結果となっている。

この事例では、いずれの盛土も安定上の問題はなかった。カルバート箇所のプレロードであるため、沈下を促進させることが第一の目的である。過剰間隙水圧の消散状況からは、バーチカルドレーン改良を行うことが有効であることが確認されたが、残留沈下に関しては、プレロードの十分な放置期間を確保することで対処できると考えられる。したがって、工程上の制約やカルバートの断面余裕量などに応じて、地盤改良の必要性を検討していく必要がある。

(4) 軟弱地盤上の補強土壁工法の適用事例

i) 概要

道路盛土においては、腰積み構造とする場合や、橋台やカルバートのウイングの巻込み部などに、ブロック積みが多用されている。軟弱地盤上の盛土では、残留沈下が多い場合に、不同沈下によりブロック積みが変形し、法面保護や腰積みとしての用途に支障が出る場合がある。とはいえ、ブロック積みの基礎を杭としたり地盤改良するのは非常に高価であり、また新たに無処理の箇所との不同沈下を生むことになる。そこで、磐越自動車道の新潟中央インターチェンジ (IC) 近傍の橋台巻込み部の盛土では、沈下に追従しやすい構造として、ジオシンセティックスによる補強土壁を採用した。

ii) 設計および対策の効果

当該箇所は腐植土を含む粘性土が約 5 m 厚さで堆積

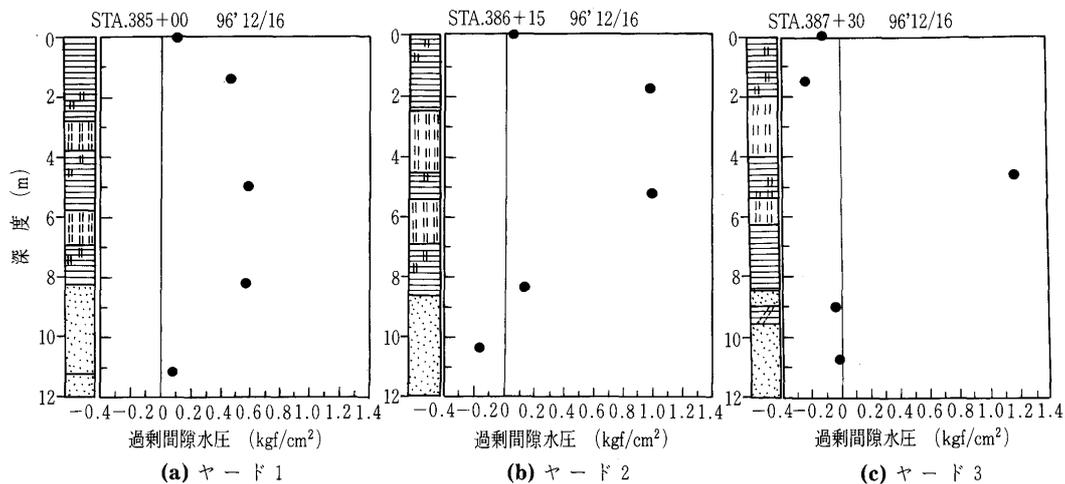


図-3.2.19 盛土立上がり後の過剰間隙水圧

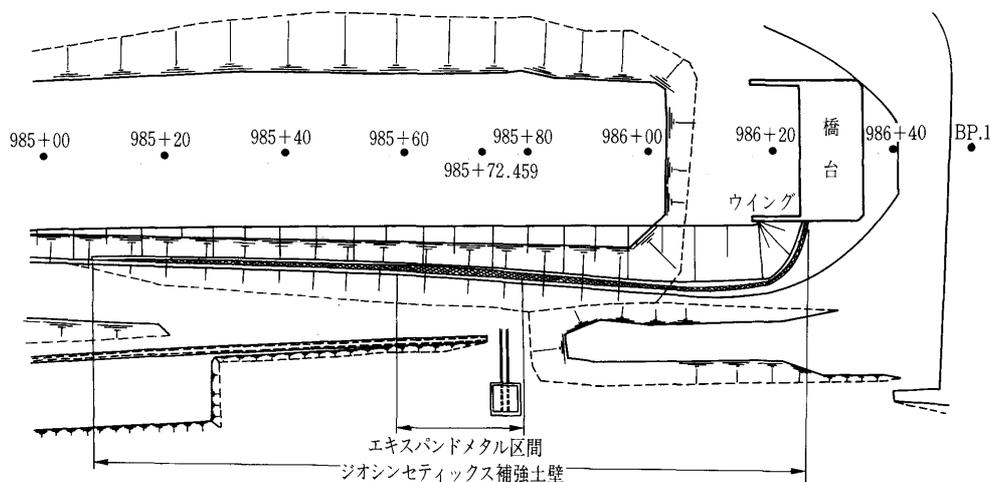


図-3.2.20 施工時の平面図

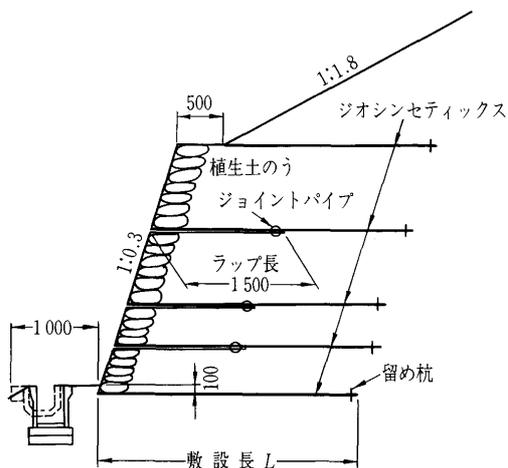


図-3.2.21 補強土壁標準横断面図

している。図-3.2.20は、施工箇所の平面図である。また、図-3.2.21は、施工されたジオシンセティックス補強土壁の標準的な横断面図を示している。補強土壁は、延長123 mにわたり、その区間内で0.5~2.9 mと高さに変化するため、代表断面を4種類設定して各々安定計算を行い、必要敷設長は1.5~3.0 mとなった。法面勾配は1:0.3で、壁面工は土のう巻込みを主体としたが、一部はエキスパンドメタルを試行的に用いた。

付近で計測された沈下量は、盛土高さ約6 mの立上がり時までに、盛土中央で約90 cm、法肩部で約60 cm生じたが、この補強土壁には、特に変状はみられなかった。

3.2.5 あとがき

ここでは、インターチェンジや道路本線の盛土における地盤改良、各種道路構造物およびその周辺における地盤改良の実例から、道路における地盤改良の選定と設計のポイントを述べてきた。これらの事例は必ずしも最近の実例ばかりではないが、地盤改良の選定において建設当時の社会・経済的情勢を反映しているように見える。すなわち、大規模なプロジェクトが盛んな時期は、地盤改良工法は、主に工期、時間に大きく影響されて選定される傾向にあった。その結果、道路事業においても深層混合処理工法に代表される化学的固化工法が飛躍的に実績を増やした。また、同工法は、地盤改良の範疇に限らず大規模掘削の土留めや杭基礎の替わりに擁壁や橋台等の構造物の基礎などの重要な用途への適用事例も増えてきた。その結果、経験・実績をベースとした設計・施工に関する技術的ポテンシャルも積み重なるとともに、軽量盛土材や補強材とを組合わせた合理的な設計・施工

講 座

例も増えてきた。

さて、冒頭の“3.2.1 まえがき”で述べたように昨今のコスト削減の要請の中、経済性を重視した地盤改良の選定・設計が強く要求されている。その観点から最近の地盤改良の技術開発の動向をみてみると、バブル経済以前に盛んに採用されていた締固め工法などによる物理的改良工法がリニューアルされて採用されつつある。特に、阪神淡路大震災の後の新しい液状化対策工法として、サンドコンパクションパイル工法、ロッドコンパクション工法などの範疇に入る改良効果が優れ、かつ振動・騒音を大幅に低減させた工法が開発・実用化されている。

地盤改良工法の選定に際して、地盤改良に伴う建設汚泥、泥土（セメント混じり泥土も含む）の発生抑制、処理およびリサイクルも重要な課題であり、社会的な要請である¹⁴⁾。一部の工法においてはリサイクルの観点に立って試行されているが、本格的に取り組む必要がある。

さらに、“仕様規定から性能規定”への移行が世界的な潮流になってきている。例えば、これは1996年より発効した新たな政府調達協定¹⁵⁾であるが、技術仕様については「適当な場合にはデザインまたは記述的に示されていた特性よりも性能に着目して」定めるものとして

いる。このような性能規定は採用可能な技術の範囲を広げることから、新技術開発のインセンティブにもなることが期待されている。性能規定化を地盤改良に適用させた場合、地盤改良の仕様として軸圧縮強さや N 値などで規定されていたものが、最終的に道路盛土の沈下や側方移動の程度で判定されることが想定される。すなわち、設計者・施工者としては、リスクは伴うが性能仕様を満足する地盤改良であれば、その選定において選択肢が大幅に広がるとともに、改良形式、改良率などの改良仕様の柔軟性が増し、結果として構造物建設のトータルコストの削減につながるものと考えられる。

参 考 文 献

- 12) 田名瀬寛之・本田周成・早瀬宏文：橋台背面土圧軽減工法—EPS工法，ジオグリッド工法—，土木技術，Vol. 51, No. 2, pp. 82~89, 1996.
- 13) 武山光成・中條 一：羽田道路における地盤改良—超軟弱地盤の大規模改良—，土木技術，Vol. 16, No. 12, pp. 70~78, 1991.
- 14) 建設省土木研究所施工研究室：建設汚泥再生利用暫定マニュアル（案），建設省土木研究所資料，1996.
- 15) 財建設業適正取引推進機構：公共事業とWTO政府調達協定，大成出版社。

平成9年度地盤工学会賞受賞者の決定

平成9年度地盤工学会賞受賞者が、平成10年2月25日の理事会において次のとおり決定した。

【技術賞部門】

(順不同敬称略)

賞の名称	受賞業績	受賞者
技術業績賞	地下変電所建設における大規模円形自立山留めの計画と設計・施工	新豊洲変電所設計・施工グループ 柏木 淳男・有泉 浩蔵（東京電力 ^株 ）・長谷川則夫（東京電力 ^株 ） 熊谷 俊雄（東電設計 ^株 ）・手塚 徳（清水建設 ^株 ） 代表者：正会員 柏木 淳男 （前東京電力 ^株 送変電建設本部部长，現前田建設工業 ^株 顧問）
技術開発賞	先端強化型場所打ち杭の開発	先端強化型場所打ち杭開発グループ 奥村 文直・福島 弘文（ ^株 マエダ） 菱沼 登（ ^株 熊谷組）・伊藤 達男（三井建設 ^株 技術研究所） 代表者：正会員 奥村 文直（ ^株 鉄道総合技術研究所浮上式鉄道開発本部計画部長）

【研究・論文賞部門】

賞の名称	受賞業績	受賞者
研究業績賞	第三紀層泥岩の力学的性質と膨張性トンネル、地すべり等のメカニズムに関する一連の研究	正会員 仲野良紀（元岐阜大学教授 農学部生物生産システム学科）

訂 正

■平成10年2月号（Vol. 46, No. 2）の口絵写真—24に誤りがありました。おわび申し上げますとともに、右記のように訂正いたします。

記

●口絵写真—24の中央にある“立川ローム層”の文字は削除する

写真の説明のとおり、立川ローム層は写真上部のブロック塀のところになり、写真には現れていない。