

## 急峻斜面上に平場を造成する —山岳工事におけるジオテキスタイル補強土壁工法の適用例—

山内 裕元\* 原 寛\*

### 要 旨

山岳地帯の明かり工事では、斜面に構造物を建設するための進入路や作業ヤード（平場）を造成する場合がある。良好な道路や広い施工ヤードが確保できれば、作業効率が高まり、同時に安全性を高めることもできる。平場を確保する方法としては、仮設栈橋により作業構台を構築する方法が一般的であるが、切盛土工によって平場を造成する方法も考えられる。本報では、東海北陸自動車道八幡インターチェンジ工事のうち、進入路造成工事におけるジオテキスタイル補強土壁工法の適用事例を紹介し、その利点・問題点について考察する。

### 1. はじめに

岐阜県の奥美濃地方に郡上八幡（ぐじょうはちまん、郡上郡八幡町の略称）という人口2万足らずの山あいの街がある。郡上八幡は、夏の「郡上おどり」や「長良川の鮎つり」が有名で、この地域の中心街である。この街の西側に東海北陸自動車道の郡上八幡インターチェンジ（八幡IC）は位置する。八幡ICを含め、奥美濃地方を通る東海北陸自動車道は、急峻な谷あいを蛇行して流れる長良川を縫うように路線が計画されている。こうした条件から、当自動車道の建設はトンネルや高架橋の構成比率の高い典型的な山岳工事が主体となっている。

山岳急峻斜面における明かり工事では、本体構造物

を建設するための仮設進入路や作業ヤード（平場）造成の適否が、工事全体の進捗性や採算性に影響する。また、工事中の落石対策も重要課題となる場合がある。このような背景を踏まえ、八幡IC工事では進入路および作業ヤードの造成工事において、落石防護柵を兼ねたジオテキスタイル補強土壁工法を設計変更によって採用した。

### 2. 工法採用の経緯

#### 2.1 工事における諸課題

八幡IC工事の主な工種は、切盛土工、法面工および橋梁下部工やカルバート工を主体とする構造物工であった。このうち、稲成高架橋が建設された稲成向中

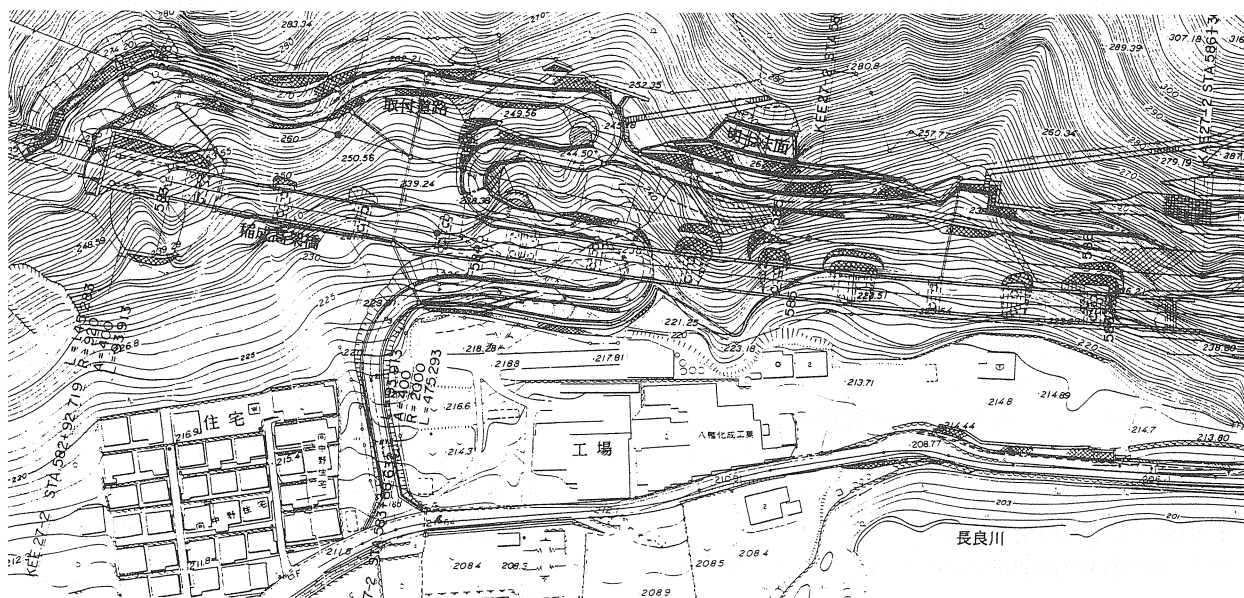
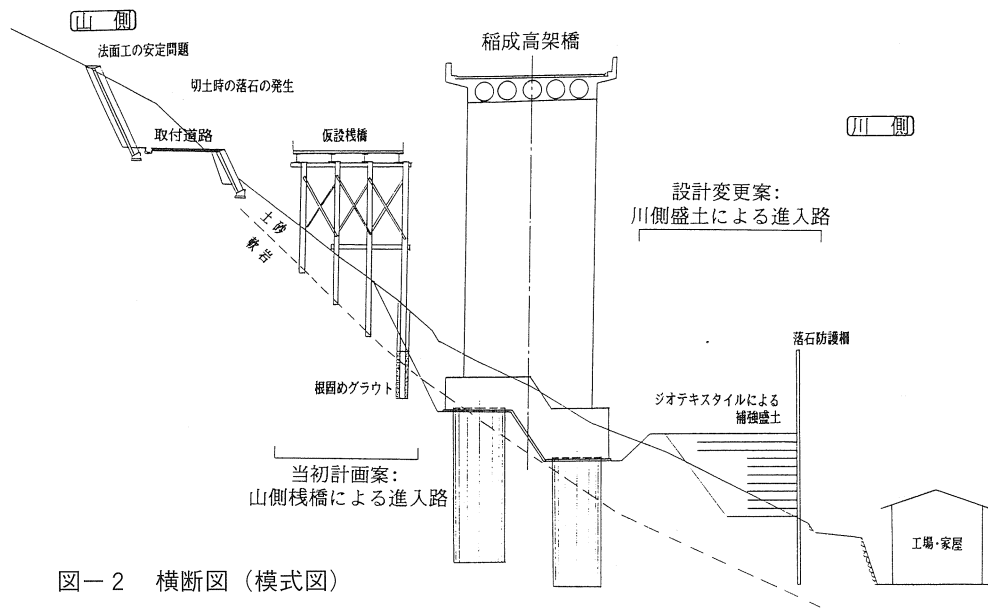


図-1 当該地点の計画平面図

\*名古屋支店



図一 2 横断図 (模式図)

野地区では、平均勾配が30度を上回る急傾斜地での橋梁下部工とその上部斜面における取付道路造成のための切土工事が計画されていた(図一1)。当工区直下の山裾には住宅や工場が隣接しているため、当初より難工事が予想された。例えば、切土工事では切土(スライスカット)の方法や切土にともなって発生する急勾配法面(1:0.5)の安定の問題、あるいは落石による災害の発生をいかに防止するかといった問題を解決する必要があった。また、橋梁工事では本体工事を行うためのアプローチ道路(進入路)や作業ヤード(平場)の確保が技術上の課題となった(図一2)。

当初、この地区の工事の作業手順として、以下の案が計画された。

- ① 橋梁下の用地境界付近に簡易な落石防護柵を人力施工で設置し、住宅や工場への落石対策を施す。
- ② 取付道路のルートを利用して進入路(パイロット道路)を造成する。
- ③ 橋梁山側のパイロット道路から仮栈橋を架設し、進入路および作業ヤードを確保する。
- ④ パイロット道路や仮栈橋を利用して、高架橋を下部工、上部工(別業者施工)の順に建設する。
- ⑤ 橋梁構築後、仮栈橋を撤去し、取付道路や周囲の付帯工を仕上げ、最後に落石防護柵を撤去する。

当初計画において、問題となったのは次の2点である。

まず第一は工程の遅れの問題である。パイロット道路および仮栈橋が高架橋の山側に建設されるため、橋梁工事へのアプローチが長くなり、橋梁工事への着手が遅れる。特に山岳急峻斜面での栈橋の建設は、その

基礎工事に手間がかかり、工期・工費とも当初の予定を上回る場合が多い。また、切土を主としたパイロット道路や仮栈橋だけでは、山岳斜面での平場の広がりには限られたものとなり、十分な作業ヤードの確保が困難である。さらに、栈橋は斜面上の高所に建設されるため、橋梁基礎工(深礎杭)の掘削作業の効率が極めて悪く、より一層の工事の遅れにつながる懸念された(図一2山側)。下部工工事の遅れは、別途発注の上部工工事に直接影響するため、是非とも避けなければならなかった。

第二の問題は第三者に対する安全性の確保の問題である。パイロット道路造成時や橋脚の構造物掘削中に落石が発生した場合、簡易な落石防護柵では、大きな落石荷重に耐えることができない。大きな落石荷重に耐え得る堅固な落石防護柵を建設するためには、重機施工を行う必要があり、そのための進入路が高架橋の下側に必要となる。山裾には住宅や工場が密集しており、落石災害の発生は、円滑な工事進捗の妨げとなることが予想された。

このように橋梁下部工の工期短縮と落石に対する第三者災害の回避、さらには経済性の面から、山側栈橋からのアプローチは不利であると判断し、川側からの落石対策を兼ねた進入路を改めて計画した(図一2川側)。検討にあたり、以下のような施工手順の採用によって、諸課題の解決を試みた。

- ① 落石防護柵を兼ねた進入路と広い作業ヤードを橋梁川側に造成する。
- ② この進入路を利用して効率よく橋梁を建設する。
- ③ ②の作業中にも上下作業を回避しながら山側の取

付道路を造成し、工期の短縮を図る。

- ④高架橋完了後、進入路を撤去し、取付道路の残りの部分と付帯工を仕上げる。

この施工手順を採用する場合にも、近接する家屋や工場への影響をいかに少なくし、地権者の理解をいかに得るかといった問題に細心の注意を払った。

### 2. 2 工法選定

進入路工の工法選定にあたっては、つぎの事項に留意した。

- ①落石防護柵は5 mの高さを有し、大きな落石荷重に耐える構造とする。
- ②急斜面の起伏や傾斜、地形・地質条件の変化に柔軟に対応できる工法を選定する。
- ③近接施工なので騒音・振動の少ない工法とする。

このような検討条件を踏まえ、栈橋方式、自立矢板方式およびジオテキスタイルによる補強土壁方式等の工法比較検討を行い、現地の地形条件に応じて各工法を採用した。工法選定フローを図-3に示す。

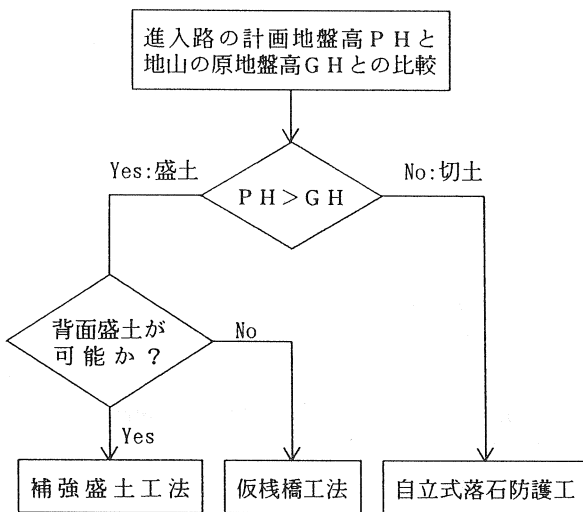


図-3 進入路工の構造選定フロー

### 3. 採用工法の設計・施工

図-4に盛土高5 mの場合の構造図を一例として示す。採用した工法は、親杭横矢板の壁面を有するジオテキスタイル補強土壁である。この壁面は単に土留め壁であるだけでなく、盛土面より突出した部分は落石防護柵の機能をもつ。また、壁面背後の盛土部にジオテキスタイルを敷設させ、壁面とジオテキスタイルを連結することで補強土塊を一体化し、補強盛土としての安定性を向上させている。土留め壁を杭とジオテキスタイルでもたせるという形式はこれまでにない構造である。

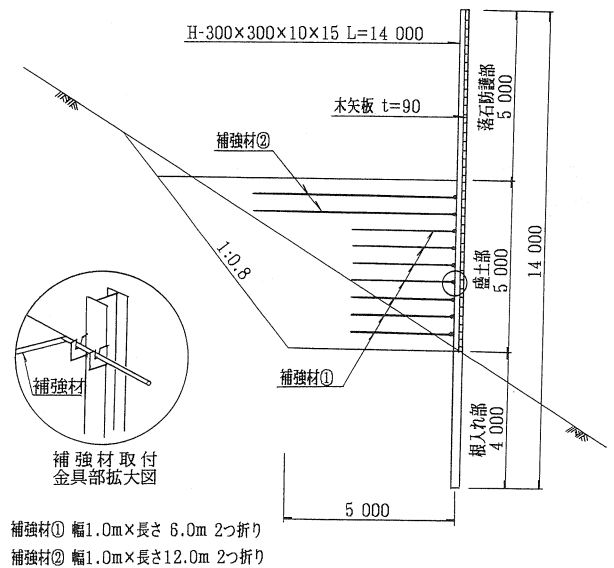


図-4 ジオテキスタイル補強土壁工法構造図

### 3. 1 設計<sup>1) 2)</sup> (図-5)

(1) 設計外力・土質定数： 作用外力としては、(イ)土の自重( $\gamma=2\text{tf/m}^3$  [19.6kN/m<sup>3</sup>])、(ロ)土載荷重( $q=1\text{tf/m}^2$  [9.8kN/m<sup>2</sup>])、(ハ)落石荷重<sup>3)</sup> ( $P=5.5\text{tf}$  [53.9kN])を想定した。落石荷重は鋼材倶楽部の推定式を用いて算出した。この5.5tfの荷重は直径30cmの石が高さ約30mの高さから自由落下したときの衝突荷重に相当する。荷重の組合せは、(イ)+(ロ)、(イ)+(ハ)の2ケースを設定した。

盛土材には現地発生のレキ(玉石)混じり土を用いることとし、土質定数として $c=0$ 、 $\phi=40^\circ$ を用いた(JH設計要領参照)。

(2) 補強材の選定・配置： 補強材は織布、不織布、ジオグリッド等に代表されるジオテキスタイルを用いることとした。選定にあたっては2tf/m[19.6kN/m]の引張強度を発揮するときの伸びひずみ率が40%以下で、かつ摩擦性に優れ、岩による貫入強度や引裂・せん断強度、排水能力といった特性の比較検討を行い、織布にポリエステル繊維をニードルパンチした織布-不織布複合材を採用した。

(3) 内的安定の検討： 補強土内に発生しうる任意のすべり面を2ウェッジ法により想定し、補強土塊の滑動および転倒に対する安定検討を行った。

(4) 外的安定の検討： 補強盛土の自重および外力により生じる支持地盤の基底破壊に対して、円形すべり計算により、安定検討を行った。なお円形すべり計算に対する安全率が1.2を上回るところまで親杭を根入れするものとし、それ以浅に岩盤がある場合は岩

着させるものとした。すなわち、杭の根入れ長はこの外的安定の検討によって決定した。

(5) H鋼支柱の検討： 主働土圧と落石荷重の外力を想定し、H鋼根入れ部受働側の地盤と盛土内に敷設した補強材をバネ支点とした弾性梁モデルにより断面力を算定し、発生応力が許容応力度以下になるように設計した。

(6) 土留め板、落石防護板の検討： 土圧や落石荷重に対して矢板が単純梁としてもつかどうか検討した。なお、落石荷重に対しては、木材の破断強度まで許容するものとした。

(7) 棒鋼・取付金具の検討： ジオテキスタイルは、棒鋼（D25の異形鉄筋）に巻き付け、鋼板をフック状に加工した棒鋼取付金具に引っ掛ける構造とした。棒鋼取付金具はH鋼のフランジ部に溶接して一体化させる（図-4の拡大図参照）。棒鋼および取付金具は、ジオテキスタイルの破断強度（2tf/m[19.6kN/m]）に耐えるせん断抵抗をもつように設計した。

### 3. 2 施 工 (図-6)

(1) 土止柵設置： 重機土工を開始する前に、人力で簡易な柵を単管パイプと木矢板で設置し、土工に

ともなう用地境界外への土砂のこぼれ落ちを防止した。

(2) パイロット道路造成： 杭打ち機械が進入・設置できるように、原地盤をバックホウ0.7m<sup>3</sup>にて掘削・整地した。掘削残土はダンプトラックで搬出した。

(3) H鋼杭打設： H鋼杭の打設は、施工地盤が玉石混じり土砂であること、家屋・工場が近接していることを考慮して、低騒音・低振動工法のアースオーガ工法で行った。削孔は25t吊ラフタークレーンに取り付けたアースオーガで2mピッチに行った。削孔後、クレーンによりH鋼杭を建て込み、削孔時に発生した土砂で埋め戻した。

(4) 掘 削： H鋼杭打設完了後、最下段のジオテキスタイルが敷設できる幅までバックホウでH鋼背面部の掘削を行った。掘削土は現地に仮置きし、ジオテキスタイル敷設後盛土材として使用した。

(5) 木矢板とジオテキスタイルの取付・盛土： ジオテキスタイルの取付は、H鋼杭に取付金具を現場溶接し、その金具に通した棒鋼に巻きつけて敷設し

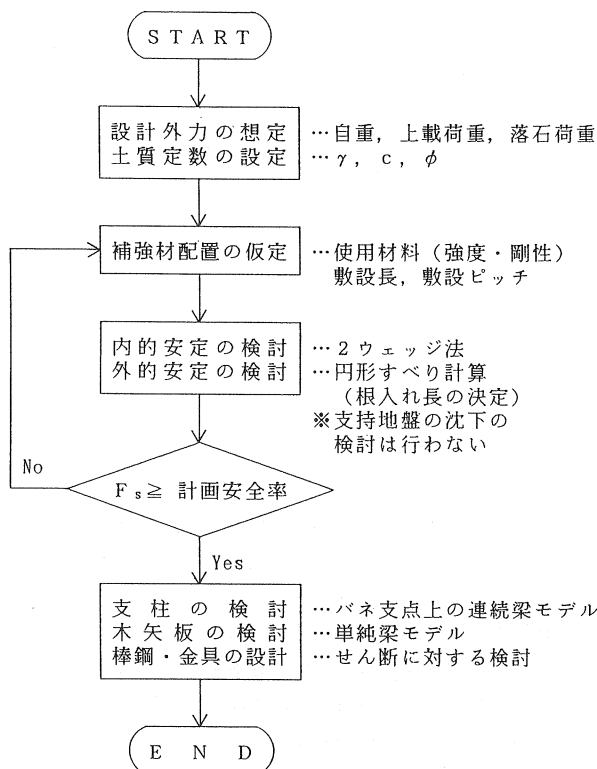


図-5 ジオテキスタイル補強盛土の設計手順

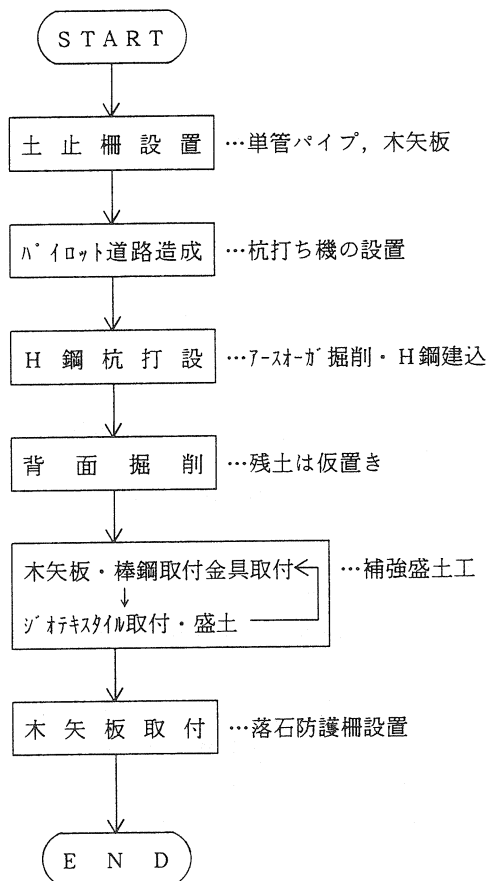


図-6 ジオテキスタイル補強盛土の施工手順

た。盛土完了後、盛土面を平坦に敷均し、小型振動ローラー等で転圧を行った。木矢板は、 $t=45\text{mm}$ のものを使用した。この木矢板をH鋼杭の打設間隔に切断し2枚重ねで取付けた。

4. 補強盛土の挙動

当該工事で用いた施工機械および概略工程表を表1、表2に示す。ここでは、補強盛土建設時およびその後の挙動について述べる。

4.1 H鋼杭の倒れの問題

当初、このジオテキスタイルによる補強盛土は、盛土高さ3～5m、H鋼杭の根入れ長2～4mで設計された。しかしながら現場での地山状況（地形の起伏、あるいは小さな沢の存在）やH鋼建込み時の転石や岩盤層の存在により、場所によっては盛土高さや根入れ長が当初計画と異なる箇所があるのである結果となった。これらの箇所の一部では盛土中あるいは盛土完了後、H鋼が大きく傾いたため、その傾度を実測した（図7）。図7よりH鋼の傾きが特に大きい箇所は、いずれもH鋼の根入れが当初設計よりも短くなっている地点に該当している。図8は、H鋼の根入れ長と盛土の天端での水平変位の関係をプロットしたものである。根入れ長が小さいH鋼ほど水平変位が大きくなっている。H鋼杭の根入れ長が不足した原因を以下に示す。

①地形の微妙な起伏（小さな沢の存在）により、当

表1 使用機械一覧表

工種	機種	規格	単位	数量	備考
掘削工	バックホ	0.7m <sup>3</sup>	台	1	掘削、積込み 運搬
	ダンプトラック	11t	台	1	
盛土工	バックホ	0.7m <sup>3</sup>	台	1	投入・敷均し 敷均し・転圧 転圧 背面端部転圧 完了時転圧
	フルター	D-6	台	1	
	振動ローラー	2.3t	台	1	
	バイブローラー	起振力21t	台	1	
杭打工	杭打ち機	25t吊钩	台	1	削孔・建込み 岩用
	7-スガ-	電動	台	1	
	オーガ-ヘッド	φ450, φ600	式	1	
	オーガ-スクリュー		式	1	
	発電機	110KVA	台	1	
	高所作業者		台	1	

表2 進入路工 工程表

工種	1993年											
	5月			6月			7月			8月		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
土止柵設置												
バレット道路造成												
削孔・H鋼建込												
木矢板取付												
補強盛土												
仮棧橋工												
橋梁下部工												

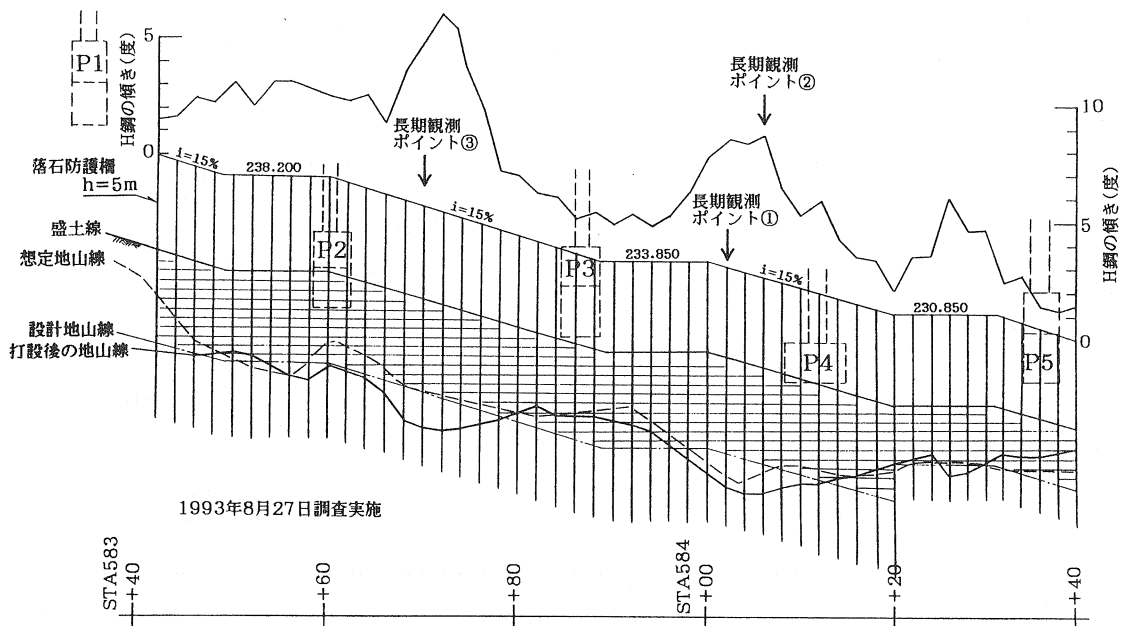


図7 H鋼の倒れに関する調査結果

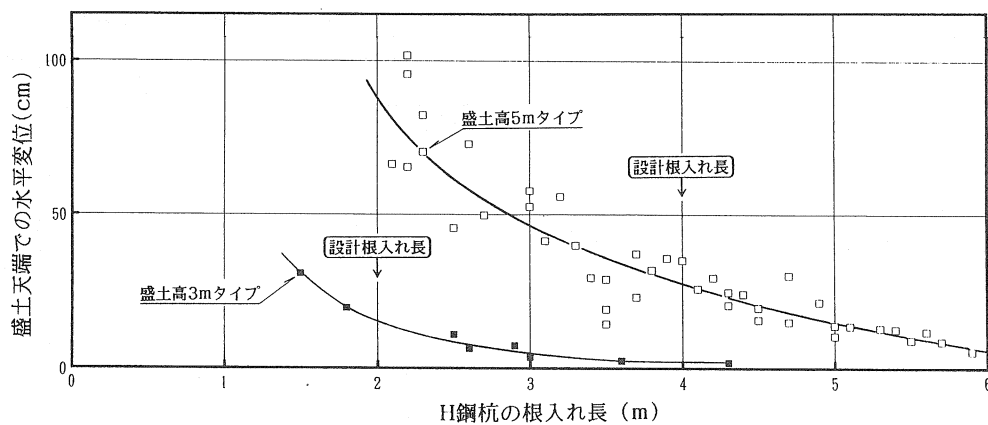


図-8 H鋼の根入れと盛土の水平変位の関係

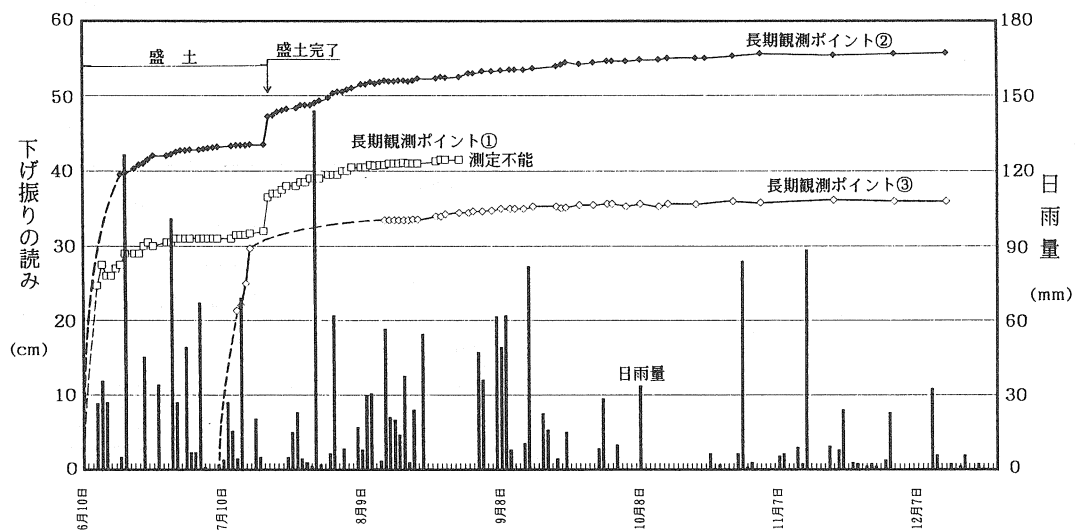


図-9 H鋼傾斜の長期観測結果

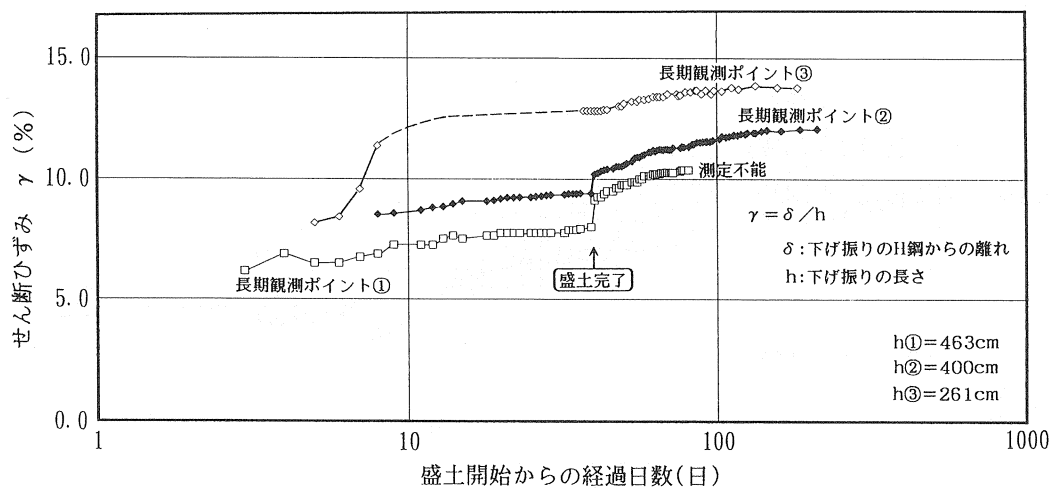


図-10 盛土の変形挙動

初の計画で見込んだ地盤よりも実際にH鋼を建て込んだ地盤が低いところがあった。

- ②地盤内にある転石により、削孔位置が斜面の下側にずれ、結果的にH鋼の建込み位置が当初の計画で見込んだ地盤よりも低いところとなった。
- ③地盤内の比較的浅いところに岩盤層があるため、H鋼の根入れ長が当初の計画よりも小さくなった。

上記の要因のうち、①②の項目は、根入れ長の不足のみならず、盛土高さの増加につながる。したがって、H鋼杭の根入れ不足+盛土高さの増加がH鋼傾斜の直接の原因と考えられる。

#### 4. 2 対策工の検討・動態観測

施工上根入れが短くなったこれらの区間では、その対策工について検討した。

まず、根入れが短くなった部分については、補強材の敷設段数を増やすという措置をとった。その断面での安定検討を改めて行った結果、上載荷重作用時（常時）においては、いずれの安全率や応力度も設計許容範囲にあることが判明した。一方、落石荷重が作用した場合、転倒安全率が1を下回る結果（ $F_s=0.81$ ）となった。その対策工として抑え盛土工、前面組杭工、グラウンドアンカー工、タイ材控え工等の検討を行ったが、いずれも進入路を全面的に閉鎖する必要があり、工程の遅れが避けられない状況であった。

そこで発注者と協議し、落石荷重や台風等による設計外の水圧や風圧が作用しなければ進入路としての機能を維持できることから、H鋼の傾きの進行具合についてしばらく動態観測を続けることにした。

図-9はH鋼の傾きの著しい長期観測ポイント①～③（図-7参照）における盛土開始直後からのH鋼の傾きの経時変化を日雨量とともに示したものである。同図に示すように、H鋼は盛土完了時に大型の振動ローラー（起振力21t）で転圧したところ大きく傾斜した。また、豪雨や盛土完了後の重機荷重の載荷等により、しばらくの間傾斜の進行が継続した。

図-10は盛土開始直後からのH鋼の傾斜角度が背後の盛土地盤内のせん断ひずみ $\gamma$ と同程度であると仮定し、その経時変化から盛土破壊の兆候の有無を調べた結果を示したものである。同図より盛土開始から100～150日で盛土の変形がほぼ止まり、この段階で当盛土は安定した状態になっていると判断した。

当補強盛土は落石防護柵を兼ねた進入路としての機能を十分に果たし、本工事の完成とともに無事撤去することができた（写真-1、写真-2）。

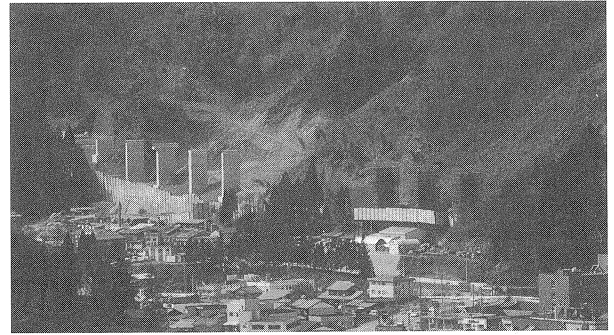


写真-1 全景写真（施工中）

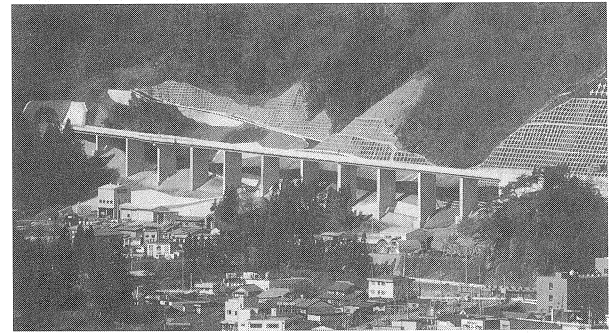


写真-2 全景写真（施工後）

#### 5. 採用工法の利点・検討問題

落石防護柵背後の狭いスペースを利用して、ジオテキスタイルを敷設させ、落石荷重や重機荷重などの外力をジオテキスタイルと親杭横矢板で一体化した補強土塊全体系で受け持たす工法について紹介した。当工法の利点・今後の検討課題を以下に列記する。

①施工性： 当工法は施工速度において他の工法に優っている。当工事では延長334mの進入路を約70日間（休止日を含む）で施工した（4.8m/日の施工速度）。これに対して、栈橋区間は51mの進入路を完成させるのに約60日を要した（0.9m/日）。この差は歴然としている。

②経済性： 当工事において、進入路の単位延長当たりの工事費を比較すると、補強土壁の工事費は栈橋の約65%で済んだ。経済性においても当工法の有利性が認められた。

③作業性： 当工法の採用によって最も恩恵を受けたのは橋梁下部工工事である。進入路や作業ヤードを広げたことにより、複数の橋脚の基礎工（深礎杭）や構築工（足場、鉄筋、型枠、コンクリート）の同時施工が可能となった。特に深礎工は施工基面が杭基礎天端に概ね一致したため、作業効率が大幅にアップした。

④構造上の改善点：

(1) H鋼杭の根固め： H鋼杭の施工は当初バイ

プロハンマで計画したが振動の問題や玉石混じり層での適用が困難なこと（現地で実際に確認した）から、アースオーガによる方法を採用した。H鋼杭が大きく傾いた要因の1つに杭の横方向抵抗力が不足していたことがあげられる。アースオーガ削孔により杭を建て込む際に、モルタルによる根固めを行えばH鋼の著しい傾斜は防止できたであろう。

（2）H鋼どうしの連結：土留め杭の腹起しと同様にH鋼どうしを水平継材で連結すれば、全体の剛性がより高まったはずである。

（3）ジオテキスタイルとH鋼の結合方法：盛土のH鋼に対する相対沈下対策、結合部への設計荷重、それに対する結合力を確保する構造の開発等、改善点が多く残されている。

（4）壁面排水工の確保：排水能力の高いジオテキスタイルを用いたにもかかわらず、壁面からの排水を考慮しなかったために、大雨時に壁面に水圧が働いた形跡が認められた。この対策として、排水孔や透水性を有する壁面を設けるなどして水圧がかからないようにするといった工夫が必要である。

⑤施工方法の改善：今回採用した工法の発展型工法として、次のような工法を検討する余地がある。すなわち、まずジオテキスタイル補強盛土を施工し、盛土の変形を待ってから盛土の上からH鋼を打設する。そして、盛土内部に前もって設置しておいたアンカー材をH鋼と結合するという方法である（壁面後付け工法と呼ぶ）。この方法の場合、H鋼の根入れは若干でよく、ジオテキスタイルがH鋼を支える形式となる。よりジオテキスタイルに荷重の負担が大きくなる分、現設計よりもジオテキスタイルの使用量は増える。一方、H鋼の打設費用は減り、またH鋼杭の倒れや見栄えの問題は回避できるというメリットがある。

採用工法では地山の一部を掘削したため、最終的な原形復旧に手間がかかった。結果的にはふとんかごを積んだりして復旧したが、復旧にあたっては補強土工法の適用ができるよう当初から計画することが合理的である。このような場合にもH鋼のみの撤去が容易な壁面後付け工法は有利な工法となるであろう。

## 6. おわりに

補強盛土壁が完成した後、H鋼の倒れが特に顕著な箇所については関係者の方々から何らかの対策が必要ではないかというご意見を頂いた。しかし、補強土工法はある程度変形が進んでから効果が発揮されるのでいま暫く静観させて頂きたいとお願いした。そして約

半年間の挙動観測によって盛土変形が収束する傾向を示した時にはほっと胸を撫で下ろした。

本工事は、日本道路公団名古屋建設局美濃工事事務所のご指導のもとで、関係各位のご協力をいただき実施した。また、採用工法の問題点・改善点について、東京大学の龍岡文夫教授に貴重なご指摘を頂いた。末筆ながら関係各位に深く謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説、土構造物、補強盛土、丸善、pp.151-162、1992
- 2) 山内裕元：粘性土盛土の不織布による補強法、東京大学博士論文、11章、pp.11-6～12、1987
- 3) 日本道路協会：落石対策便覧、1-5-4 落石による衝撃力、pp.18-27、1983