

軟弱地盤における道路盛土の情報化施工

Real time control method for a highway embankment construction on a soft ground

くり はら のり お
栗 原 則 夫*

1. はじめに

情報化施工とは、現場計測工法という手法をコンピューターの導入によって理論と現場あるいは設計と施工を有機的に結合したシステムに発展させたものであり、計測データの系統的処理やその現場への正確かつ即時的なフィード・バックを狙ったものといえる。したがって現場計測工法にしろ情報化施工にしろ、設計には施工からのフィード・バックを想定した柔軟性が要求されるし、施工には計測等による情報の収集、処理および将来予測、更にはそれに基づく設計や施工法の修正、変更の方法論が必要とされる。また、それを成功させるためには、こうした考え方に対する発注者、設計者、施工者の十分な理解と三者の有機的な結びつきが不可欠である。そこで、ここでは軟弱地盤における道路盛土の情報化施工について、このような見地から考察するとともに、その具体例について述べる。

2. 道路盛土の情報化施工

軟弱地盤における道路盛土の施工にあたっては安定と沈下の問題がある。前者は無事に計画高まで盛土が立ち上がるかどうかという問題であり、主として盛土速度のコントロールに関連する。後者は盛土荷重によって最終的にどれくらいの沈下量が時間的にどのように進行するかという問題であり、施工中には盛土量の予測、カルバートの設置高さやプレロードの取除き時期の決定、盛土出来形（のり面勾配、天端の幅と高さなど）の修正、施工後には構造物との段差の修正やオーバーレイの時期の予測にそれぞれ関連する。したがって、道路盛土の情報化施工では、安定問題と沈下問題の両者に係る側面が考えられるが、ここでは軟弱地盤上の盛土工事における第一義的な問題である安定問題に係る側面について述べる。

軟弱地盤における盛土の基本的な工法は、深層混合処理工法や杭工法などの特殊な工法を別にすれば、盛土荷重によって地盤の圧密を進行させて強度増加を図りながら順次盛土を立ち上げていく方法である。したがって、盛土荷重が地盤の支持力とうまくバランスするように盛土荷重を時間的にコントロールすることによって、所定の盛土高までできるだけ速く盛土を立ち上げるのが最も合理的な施工法

となる。具体的には、動態観測のデーター等から盛土や地盤がどの程度安定であるか、いいかえればどの程度破壊に近いかを予測し、それによって盛土速度を増減することが中心となる。このような作業は、一般に安定管理と呼ばれるものである。したがって、軟弱地盤における盛土の情報化施工は、一般的には図-1のようになる。以下図-1の各段階における考え方について述べる。

2.1 設計の考え方

一般に軟弱地盤における盛土は、対策工にかける費用が少なければ時間をかけてゆっくり施工する設計となり、逆の場合は短い工期ですむ設計となる。すなわち、軟弱地盤における盛土の設計は、所定の規格と品質の盛土を現場条件に適した方法で建設するための最も経済的な費用と時間のバランスを求めることがあるといえよう。その手法としては、安定解析や沈下解析という計算による手法が用いられる。計算上は、工期に余裕がないケースでも所定の設計安全率を満足するような対策工を決めることができるし、その対策工の組合せは幾とおりも可能である。しかし、実際の施工では計算どおりの挙動とならず、安全率が十分

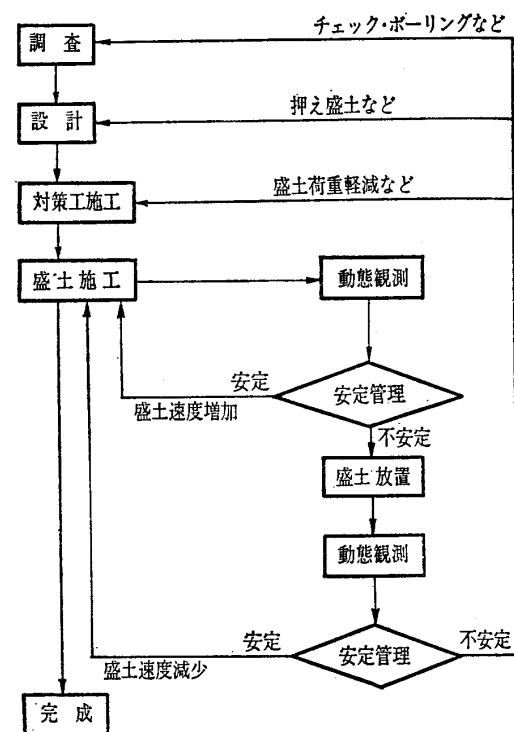


図-1 盛土の情報化施工

*日本道路公団試験所 企画課長

No. 1319

であったケースで破壊が生じたり、逆に安全率が不十分なケースで安全に盛土できたりすることがよくある。このような問題点に対して、実際の設計ではどのように対処すべきであろうか。サンドドレンなどの地盤処理工を例にとると、それが打設された後に盛土が施工されるわけであるから、盛土施工時の動態観測によって過大設計であったからといって変更することはできないし、過小設計であった場合でも変更は非常に難しく、仮に変更すれば極めて不経済となることが多い。したがって、余裕のない工期の中で計算上の安全率を地盤処理工で稼ぐような設計よりは、ゆっくり盛土することや盛土幅を広くとることによって安全率を上げるような設計にし、盛土施工時点からのフィード・バックに対して柔軟性をもたせるようにするのが実際的であり、失敗が少ない設計法である。

以上のように現行の解析法は設計の目安を得るために1つの検討手段と考えるのが実際的であり、解析結果に類似地盤での施工例や各種対策工法の信頼性などを加味して、理論的だけでなく経験的にも妥当と考えられる設計を行う必要がある。例えば道路公団においては、軟弱地盤上の比較的高い盛土に対して、従来の経験より、(イ)緩速施工を基本とし、工期に余裕をもたせた設計にすること、(ロ)対策工法としては押さえ盛土工法を優先的に検討すること、(ハ)バーチカル・ドレン工法は、地盤の強度増加の促進を目的にした用い方をするものとし、沈下促進を目的にした用い方はしないこと、(ニ)橋台部やボックス・カルバート部には原則としてプレローディング工法を用いること、などを設計の基本的態度としている。ただし、こうした経験則の背景には、道路盛土の場合、かなりの長期沈下に対しても維持補修で対処可能であることと同時に、経済的な工法で長期的沈下を確実に小さくすることができないことから、盛土の安定確保を設計の主目的にしているという事情があることを忘れてはならない。

なお、規模の大きい工事で時間的に余裕がある場合は、試験盛土工事を先行させて実際的な設計、施工の指針を得るようにすることが重要であり、望ましい。また、設計時における標準的な盛土速度としては、表一1のような値が目安となると思うので紹介しておく。

2.2 施工の考え方

施工に当たっては、当初は設計盛土速度で施工を行う。同時に動態観測のデータに基づいて盛土の破壊予測を行

表一1 盛土速度の目安
(軟弱地盤対策工指針)

地盤	盛土速度 (盛土高 cm/d)
厚い粘土質地盤および黒泥または有機質土が厚く堆積した泥炭質地盤	3
普通の粘土質地盤	5
薄い粘土質地盤および黒泥または有機質土をほとんど挟まない薄い泥炭質地盤	10

い、十分安定であると判断できれば盛土速度を上げる。逆に不安定であると判断される場合は、施工を中止し放置期間をとる。放置により安定化の傾向が動態観測から確認できれば、施工を再開する。一方、放置していても依然として不安定な状態が続き破壊が予測される場合は、速やかに盛土荷重軽減などの応急対策を講じる。更に、状況によって押さえ盛土の追加やチェック・ボーリングによる本格的な対策工の検討を行う。

盛土速度のコントロールは、実際には1回に一定の厚さの盛土を施工し、その後の放置期間を増減することによって行う。1回当たりの施工厚さは、盛土本体の品質管理上一定の限界が必要である(高速道路の場合は30cmが標準)。施工ヤードは、1日1回で施工可能な規模の範囲内で縦断方向に区分しておき、区分した1つの施工ヤードを1施工単位区間として1回の施工で全体を均一に盛り上げる。不均一な盛立てや横断方向の部分的な施工は避ける。この施工単位区間は、地盤条件や盛土条件などが同一の範囲を1つの区間とし、各区間に動態観測のための計器を配置する。また、過去の破壊事例の多くは、何らかの理由あるいは不小心に、1日あるいは数日間で放置期間を置かず施工厚さを大きくしたケースがあるので、1日当たりの施工厚さもあまり大きくしないようにすると同時に、毎日施工する区間を変えて1つの区間を連続して施工しないようとする。

更に重要なことは、以上のような設計、施工の考え方を早い時期にすべての工事関係者に徹底させ、動態観測に基づく施工が確実に行われる体制を確立することである(逆にそのような体制ができない限り、情報化施工は成り立たないことを銘記すべきである)。

2.3 動態観測と安定管理の考え方

情報化施工には適確な動態観測とその結果に基づく安定管理が必要であるが、安定管理の成否は、盛土や地盤の破壊がいかに精度良く予測できるかにかかっている。地盤の挙動と破壊の兆候をまとめると、図一2のようになろう。概念的にいえば、盛土荷重による地盤の挙動は圧密とせん断が複合したものであり、圧密がせん断より卓越していれば地盤は安定状態であり、逆にせん断が圧密より卓越するようになれば不安定状態となる。

ところで、前述したように盛土の安定は、盛土荷重と地盤支持力のバランスで決まるわけであるから、これらを直接管理できればいいのであるが、それは理論的にも計測技術的にも極めて困難である。そこで、沈下や変形の計測が容易で精度も比較的良好なこともあって、これらの観測とそれにに基づく安定管理が行われることが多い。この場合の破壊予測法は、マクロな地盤の破壊が図一3に示すような軟弱層全体の沈下量 V_s と側方変形量 V_d に密接な関係があるとの認識に基づくものである¹⁾。すなわち、圧密が卓越して地盤が安定しているときは、 V_s が大きく増加し V_d は

地盤の挙動		破壊の兆候
	圧密	せん断
現象	<p>○体積圧縮が生じる 沈下量 S_C 側方変位量 δ_{CH} (水平方向) δ_{CV} (鉛直方向)</p>	<p>○形状変化が生じる 沈下量 S_J 側方変位量 δ_{JH} (水平方向) δ_{JV} (鉛直方向)</p>
		<ul style="list-style-type: none"> ○圧密変形に比べてせん断変形が卓越するとき ○ヘーアクラックの発生など
測定値	<p>沈下量(盛土中央部) 水平変位量(盛土のり尻部) 鉛直変位量(")</p>	$S (= S_C + S_J)$ $\delta_H (= \delta_{CH} + \delta_{JH})$ $\delta_V (= \delta_{CV} + \delta_{JV})$
	<ul style="list-style-type: none"> ○強度増加あり 	<ul style="list-style-type: none"> ○強度増加なし、または低下
強度測定値	<p>一軸圧縮強度 q_u、コーン強度 q_c など 盛土荷重 $q_E = \gamma_E H_E$ $[\gamma_E, H_E: 盛土単体重量, 盛土高]$ 過剰間隙水圧 Δu</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> ○ q_u, q_c などの増加がないか、低下する ○ Δu が急増する 	

図-2 地盤の挙動と破壊の兆候

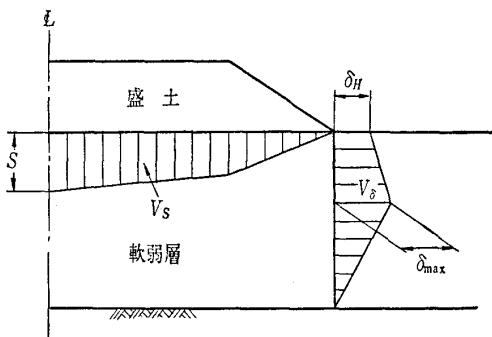


図-3 地盤の沈下と側方変形

ほとんど変化しないか若干増加する程度なのに対し、せん断が卓越して地盤が不安定になって破壊へ近づくときは、 V_δ の増加が相対的に V_s の増加より上回るようになるので、盛土施工中にこの両者の変化を追跡していくことによって破壊予測が可能になるというものである。実際の破壊予測では、 V_s と V_δ に対応する指標としてそれぞれ盛土中央部の沈下量 S と盛土のり尻部の地表面の水平変位量 δ_H を用いることが多い。ただし地盤のタイプによっては、地表面の水平変位量 δ_H と側方変形量 V_δ の対応関係が悪くて δ_H を破壊予測に使いにくいあるいは使えないケースがある。一方、地中の最大水平変位量 δ_{max} のほうが V_δ との対応関係が良いので²⁾、今後は δ_H だけでなく δ_{max} もっと注目すべきであろう。

以上のことから動態観測の考え方をまとめると、次のようにになる。

(1) 各施工単位区間に設置する計器は、盛土の沈下や地盤の変形を対象としたものを中心採用する。すなわち、盛土中央部に地表面型沈下計（軟弱層が厚い場合は更に深

層型沈下計）、盛土のり尻部に地表面変位杭（場合によっては更に地表面伸縮計）を最小限設置する。地盤のタイプによっては、更に盛土のり尻部に地中変位計を設置する。

(2) 観測頻度は、施工中は1日1回を標準とし、不安定な兆候が現れたときは側方変位を中心に観測頻度を増やす。

(3) 観測データーの異常はできるだけ観測中に発見することに努め、それが測定誤差や重機等の走行の影響など人為的なものによるものかどうかを見極める。

(4) 盛土が不安定になったり地盤変形に異状が現れたりする箇所は、必ずしも計器設置箇所に一致するとは限らないので、動態観測では計器の観測だけでなく現場全体について絶えず目視などにより異状（ヘーア・クラックや周辺地盤の隆起など）を見落とさないようにする。

3. 北海道縦貫自動車道での実施例

現在日本道路公団が施工中の北海道縦貫自動車道（札幌～岩見沢）の軟弱地盤における盛土工事は、情報化施工を道路盛土のような長尺物に本格的に適用して成功している日本で初めてのケースであると言えよう。当区間の路線延長約32kmのうち約27kmが石狩泥炭地と呼ばれる軟弱地盤上を通過しており、そのうち約17kmが盛土区間で、残り約10kmが橋梁および高架区間となっている。盛土工事は大部分が本線外の土取り場からの客土工事であり、盛土量約710万m³のうち客土量は約500万m³にのぼる。主な地盤処理工法は、敷砂が約130万m³、サンドドレンが約240万m³となっている。この盛土工事は図-4に示すように11の工事に分割して発注、施工され、公団の工事事務所の5つの工事区で担当している。

この区間の盛土工事は、設計段階から情報化施工によることを計画していた。ここでは、情報化施工という観点から当区間における盛土の設計、施工について述べる。

3.1 設計

設計に先立って実施した土質調査においては、当区間の全体的な軟弱地盤像の把握と細部の詳細な特徴の分析を併行しながら、軟弱地盤特性を系統的に解明することを心がけた。この結果、当区間の軟弱地盤は、図-4に示すように11の地盤タイプによって13の区間に区分できることが分かった。そこでこの13の区間区分をもとに、盛土条件、軟弱層厚などを考慮して合計63の設計単位区間を設定し、設計定数を決定して安定および沈下解析を実施した。それ

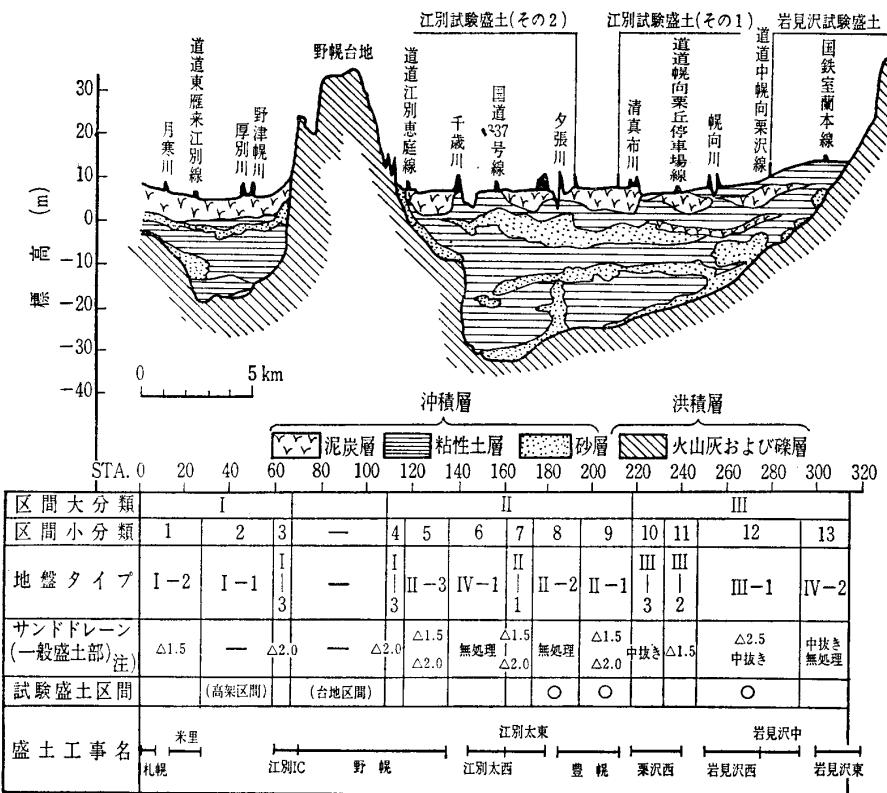


図-4 北海道縦貫自動車道（札幌～岩見沢）の概要

これらの設計定数は、統計的手法を用いて区間どうしの関連のとれたものを決定したが、このときは自然含水比をパラメーターとして土質定数間の相関を求めることが有効であった。

次に調査、解析で明らかになった軟弱地盤特性をもとに、類似地盤における多数の盛土の施工データーを分析して各種対策工法の当区間の泥炭性地盤への適用性の評価を行い、当区間の気象条件や現地条件などに適合すると考えられるいくつかの工法を基本的な対策工法として選定し、設計の基本方針を策定した。選定した基本的な対策工法は、押さえ盛土工法と緩速施工法およびサンドドレーン工法であった。また、橋台部やボックス・カルバート部などは、プレーローディング工法の採用を原則とした。この基本方針では、対策工法は盛土の安定という面のみから選定したが、盛土の安定上問題となるのは、多くの場合深さ10m前後までの上部層であって、中間砂層以下の下部層は問題とならない。

そこで、当区間の軟弱地盤を上部層に着目して代表的な地盤を選び、2つの試験盛土を実物大の大きさで実施して^{4), 5)}、実施設計の指針を作成した。

以上の経過を経て設計を行ったが、その主な内容は、次のとおりである。

(1) 実際的な効果からみても当区間の条件からみても有効かつ経済的な工法として、押さえ盛土工法をほぼ全線に採用した。具体的には、様々な検討から押さえ盛土の幅は上部層の厚さに等しくとり、高さは本体盛土高の1/3を目

安にした。なお、側道や工事用道路は、押さえ盛土に含めて設計した。

(2) 標準盛土工程は、一般盛土部は冬期の約5か月の休止期間を利用した2年にわたる段階施工とした。プレロード部は構造物の施工が後に続くため、実質的に1年で盛土する工程とした。しかし、実際には場所によって設計協議の進捗がまちまちとなつたため、図-5に示すように標準工程の工事とそれより短期の工程の工事ができた。

(3) サンドドレーン工法は、押さえ盛土工法で安定上不足する分を補う形で用いた。サンドドレーンの打設ピッチは、1.5m, 2.0m, 2.5m（いずれも正三角形配置で上部層のみに打設し、下部層までは打設しない）の3ランクとし、各設計単位区間の地盤タイプ、土性、盛土高などを試験盛土区間の各々と照合しながら、試験盛土区間の打設ピッチを参考にして各設計単位区間の打設ピッチを決定した。また、試験盛土ではサンドドレーンを押さえ盛土

部にのみ打設した区間（サンドドレーン中抜き区間）を設けたが、その結果に基づいて最終沈下量が小さく（2m程度以下）かつ無処理では安定に問題がある区間は、サンドドレーン中抜き区間とした。こうして決定した一般盛土部のサンドドレーンの打設ピッチは、図一4に示したとおりである。更にプレロード部は、一般盛土部より先行して施工する必要上盛土速度が速くなるため、同一条件の一般盛土部より1ランク上位の（密な）打設ピッチとした（図一6参照）。

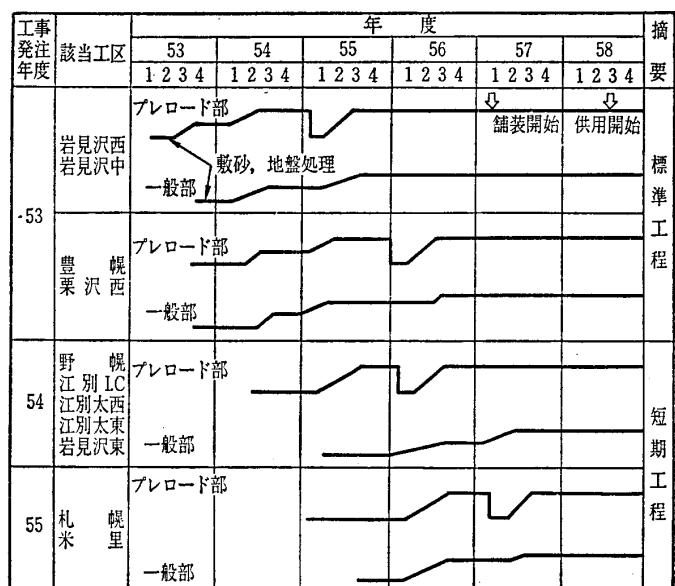


図-5 盛土工程

The table below details the construction unit zone divisions (施工区間区分) for each section (測点 STA). The sections are numbered 160+40 to 178+67. The table includes columns for construction units (施工単位), construction zones (施工区分), planned fill height (計画盛土高), ground treatment (地盤処理工), surcharge (サーチャージ), fill engineering (盛土工程), and soil profile (地盤区分).

測点(STA)	N-1	P-1	N-2	P-2	N-3	P-3	N-4	P-4	N-5	P-5	P-6	N-6	P-7	N-7	P-8	
施工単位区間区分 ^{注1)}	N-1	P-1	N-2	P-2	N-3	P-3	N-4	P-4	N-5	P-5	P-6	N-6	P-7	N-7	P-8	
施工区分	一般部	橋梁部	一般部	ボックス・カルパート部	一般部 (沼地)	パイプ・カルパート部	一般部	ボックス・カルパート部	一般部	橋台部	橋台部	一般部	ボックス・カルパート部	一般部	橋台部	
計画盛土高(m)	7.5	6.3 ~7.8	5.5 ~6.0	5.2	4.5 ~5.0	4.2	4.0 ~4.5	4.5	4.6 ~5.6	5.8	6.6	7.0 ~7.6	6.7 ~7.7	3.2 ~5.8	5.8	
地盤処理工	無	SD △2.0m	SD △2.0m	SD △1.5m	SD (竹枠ネット ト工併用)	SD △1.5m	SD △2.0m	SD △1.5m	SD △2.0m	SD △1.5m	SD △1.5m	SD △1.5m	SD △1.5m	無	無	
サーチャージ ^{注2)}	無	有 (H=2m)	無 (水抜き)	有 (水抜き)	有 (水抜き)	無	有 (水抜き)	無	有 (水抜き)	有 (水抜き)	無	有 (水抜き)	無	有 (H=2m)		
盛土工程(敷砂除く)	1年	1年	2年	2年	2年	1年	2年	1年	2年	1年	2年	2年	2年	2年	1年	
地盤区分 (上部層) ^{注3)}	IV-1	II-1											II-2			
	c	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	d, e	e		

注1) N…一般盛土部, P…プレロード部 注2) H = 2 m…計画盛土高 + 2 m のサーチャージ、「水抜き」…敷砂層から揚水して地下水位低下によりサーチャージ

注3) II-1, II-2, IV-1…図-4の地盤タイプ, a…泥炭(3~5 m)+粘土+砂, b…泥炭(2 m以下)+粘土+砂, c…局部的分布の薄い泥炭+粘土+砂,
d…石炭灰+薄い泥炭+粘土+砂, e…石炭灰+粘土+砂, なお d, e の石炭灰は過去の捨土

図-6 施工単位区間区分の例(江別太東工事)

3.2 施工

施工段階では、まず設計単位区間にもとに着工時のボーリングなども加味して施工単位区間が決められた。この施工単位区間は、地盤条件、盛土条件および対策工法などの各種条件が同一の区間であり、施工はこの区間単位で行われた。図-6は、ある工事における施工単位区間区分の例である。

各施工単位区間には観測線を設けて動態観測を行いながら、その結果をもとにした安定管理によって盛土速度をコントロールした。当区間の安定管理では、後述するように盛土中央部の沈下量と盛土のり尻部の地表面の水平変位量を管理指標としたので、動態観測用計器は沈下と側方変形を測る計器を中心に選定した。全線約110箇所の観測線に設置した計器とその観測頻度を表-2に示す。一施工単位区間の1回当たりの盛土施工厚さは30 cmとし、その後の放置期間を増減することで盛土速度のコントロールを行ったが、盛土高が高くなつて不安定な状態に近づいた時点では、一回当たりの施工厚さも20 cmに減らして盛土速度をコントロールした。このようにしてコントロールした盛土速度の実績をプレロード部について示すと表-3のようであった。設計盛土速度は、試験盛土の実績(4~6 cm/d)をもとに設定した値である。

3.3 情報化施工のシステムと動態観測^{6), 7)}

当区間のような大規模で複雑な工事を全体として情報化施工で系統的に施工するためには、公団と請負人を有機的に結合した総合的なシステムをつくることが不可欠であつた。図-7は、当区間の情報化施工のシステムを示してい

る。公団の工事事務所の各工事区は各々1~3つの盛土工事を担当しているが、図-7は一つの工事区とその工事区が担当する工事の一つの請負人および公団の工事事務所に工事区とは別に設置した集中管理センターの3者を結ぶシステムを示したものである。すべての工事区と請負人は、集中管理センターを介して同じ1つのシステムに組み込ま

表-2 計器と観測頻度

計 器	数 量		観 测 頻 度			
	一般盛土部	プレロード部	盛土期間中	盛土終了後1か月	盛土終了後1~3か月	盛土終了後3か月以後
地表面型沈下計	105	237	1日1回	1日1回	1週1回	1月1回
深層型沈下計	15	66	"	"	"	"
地中変位計	8	22	1週1回	1週1回		
地すべり計	2	40	1日1回	1日1回		
地表面変位杭	60列	142列	"	"		
隙間水圧計	0	64	"	"	1週1回	1月1回
水位計	16	14	"	"	"	"

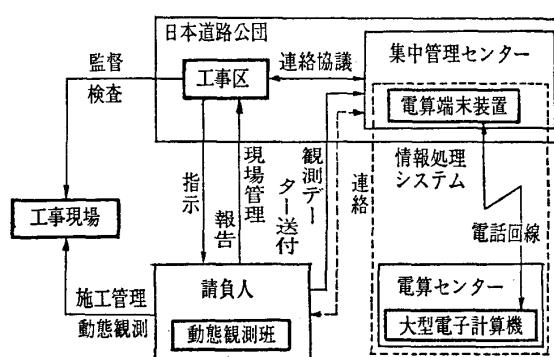


図-7 情報化施工のシステム

No. 1319

表-3 プレロード部の盛土速度(盛土厚)の実績

地盤タイプ	設計条件	サンドドレン	設計盛土速度(cm/d)	実績		
				盛土速度(cm/d)	盛土高(m)	盛土工程
I-2	粘性土層厚6m未満 盛土高8m未満	△1.5m	5	5.7~6.0	5.0~5.6まで	1年盛土
I-3	盛土高8m以上	△2.0m	6~8	6.7~10.0	8.0~8.3まで	1年盛土
	盛土高8m未満	無処理				
II-1	泥炭層厚4m以上	△1.5m	5	7.8~9.0	8.5~9.0まで	1年盛土
II-2	あるいは 上部層厚10m以上			4.1~6.7	5.0~6.0まで	1年目
II-3				6.1~8.8	6.5~9.0まで	2年目
III-2	泥炭層厚4m未満で上部層厚10m未満	△2.0m	6	5.4~7.5	4.0~5.0まで	1年目
				3.8	6.0~8.0まで	2年目
III-1	上部層厚7m以上	沈下量2m以上	△2.5m	6(盛土高4mまで)	4.0~4.5まで	1年目
III-2		沈下量2m未満	(△2.0, 2.5m)	4(盛土高4m以上)	4.0~5.0	6.0~9.0まで
						2年目

れている。集中管理センターでは、大型コンピューターを用いた情報処理システムによりすべての工事現場の観測データーの処理とそれに基づく安定管理を実施した。この情報処理システムにより、(イ)莫大かつ多種多様な観測データーの系統的かつ迅速な処理、(ロ)各工事現場の観測データーの横並びの比較検討、(ハ)全観測データーの系統的な蓄積と検索、が可能となった。

このようにこのシステムでは、各工事現場における施工管理と集中管理センターにおける全工事現場の集中的な施工管理の二重のシステムになっている。これは二重の施工管理で慎重を期すだけでなく、集中管理センターにおいて各工事現場のデーターを横並びでチェックすることによって現場による施工管理の水準のばらつきをなくすとともに、個々の現場での経験や集中管理センターでの検討結果などをすべての現場へ迅速に反映させることによって、全工事現場を有機的に結合した施工を行った点に大きな意義があった。

この情報処理システムによる安定管理は、各観測線での観測データーのうち盛土中央部の沈下量Sと盛土のり尻部の最大変位を示す変位杭の水平変位量 δ_H および盛土荷重 q_E を用いて、次の4つの破壊予測法によって行った。すなわち、①富永・橋本⁸⁾によるS~ δ_H 法、②栗原・一本⁹⁾による $\Delta\delta_H/\Delta t$ 法、③松尾・川村¹⁰⁾によるS~ δ_H/S 法、④柴田・関口¹⁰⁾による $\Delta q_E/\Delta\delta_H \sim q_E$ 法である。これらの方法の適用性と安定・不安定の判定基準は、事前の2つの試験盛土で検討された¹¹⁾。集中管理センターでは、この検討結果に基づいて設定した判定基準をあらかじめコンピューターに記憶させておき、各観測線の毎日の観測データーをインプットして自動的に安定・不安定の判定を行った。表-4は、このシステムで用いた不安定の判定基準である。毎日の観測データーが、表-4の判定基準のどれかに該当すると、その観測線がコンピューターで自動的に表示されるので、該当する観測線のすべての計器のデーターをチェックし(ディスプレイによってデーターチェック可能)，当

日の施工状況に関する情報も考慮して対策が決定された。このような安定管理およびそれに基づく対策の具体例を表-5に示す。表-5は、図-6に示した江別太東工事のP-5区間の例である。

なお、これら4つの破壊予測法を使用した経験から、(イ)タイプI-2やII-1, 2, 3のような地盤(図-4参照)では、Sとして安定に関係する上部層のみの沈下量を使用するほうが良いこと、(ロ)最大変位を示す変位杭は、時間とともに変わるが、盛土のり尻部から2~6mの位置のものであること、(ハ)盛土初期には盛土のり尻付近での車両走行等人为的な原因で δ_H の挙動が不安定になることが多いので注意を要すること、などが分かった。

各工事現場における請負人の施工体制は、軟弱地盤における盛土工事の経験をもつ軟弱地盤専任技術者をチーフとする動態観測班が工事班に対してイニシアチブをとれる体制がつくられた。動態観測は、朝の作業開始から測定を始めて午後3~4時に終了し、夕方までにデーターの図面へのプロットと安定管理が行われた(このデーター処理にミ

表-4 各種破壊予測法で採用した判定基準

破壊予測法	不 安 定 の 判 定 基 準
S~ δ_H 法	$\alpha_2 \geq 0.7$ または $\alpha_2 \geq \alpha_1 + 0.5$
$\Delta\delta_H/\Delta t$ 法	$\Delta\delta_H/\Delta t \geq 1.5 \text{cm/d}$
S~ δ_H/S 法	$\delta_H/S \geq 0.6$ または $\delta_H/S \geq 0.1$ で $p_j/p_f \geq 0.95$ または $p_j/p_f \geq 0.8$ で $-1 \leq \alpha_3 \leq 1$
$\Delta q_E/\Delta\delta_H \sim q_E$ 法	$\Delta q_E/\Delta\delta_H \leq 15 \text{t/m}^3$

表-5 安定管理の例（江別太東工事P-5区間）

年月日	盛土高 (進捗率)	Wn表示(注)			検討内容	対策
		①	②	③		
55. 8. 7	3.27m(54%)		○		施工の不手際で盛土厚1層57cmとなったためと思われる。S-δH管理図でも折点が確認されたが $\alpha_2=0.68 < 0.7$ であった。盛土高で全体の50%を超え、初めてのWn表示となった。	1層の盛土厚30cmの厳守。 $\Delta\delta_H$ が小となるまで放置。盆休を挟んで2週間ほど盛土休止期間を確保した。
55. 8. 20	3.41m(57%)	○			盛土休止期間で直接の原因は不明である。前日の降雨が41mmあり、のり戻変位杭は泥炭上に設置してあるので、その影響が出たとも思われる。	盛土休止期間中であり、管理図で動きを追跡。
55. 9. 3 55. 9. 11	3.61m(60%) 4.06m(67%)			○	S-δH/S管理図で $P_j/P_f > 0.8$ となり不安定な状態でWn表示が継続して出るようになった。準備排水溝の盤ぶくれが目立ってきた。また、D.T.走路は変位杭脇の側道を使用していたが、その影響も考えられた。	D.T.走路の切替えをしたが変位は継続していた。盛土は観測結果を見ながら続けた。
55. 9. 16 55. 10. 7	4.29m(71%) 4.96m(82%)	○		○	$P_j/P_f = 0.85 \sim 0.90$ の範囲で盛土高は70~80%程度。不安定な状態のもとで、Wn表示も継続して出た。 $\Delta\delta_{Hmax} = 12mm$	現場チェックでは急激な状態変化が認められなかつた。Wn表示は継続していたが、管理図上で極めて不安定な動きとはならなかったので、盛土サイクルを維持した。盛土施工中は観測班が盛土および周囲の状況をチェックした。
55. 10. 14 55. 10. 22	5.38m(89%) 5.44m(90%)	○	○	○	南3線大排水路および準備排水溝で盤ぶくれが顕著になり、排水勾配確保のため50cm前後の底ざらえをした。これが直接の要因となり変位が続いた。 $\Delta\delta_{Hmax} = 26mm$	$\Delta\delta_H$ が大すべりの要因ともなるので、しばらく休止。次回の盛土より1層20cmの施工とした。また、地すべり計を増設し、施工中および施工後の動きを観測した。
55. 10. 31 55. 12. 5	5.51m(92%) 6.05m(100%)	○		○	$P_j/P_f = 0.92 \sim 0.96$ と破壊規準線へ近づいてきて極めて不安定な状態にあった。 $\Delta\delta_H$ は5mm前後であった。	1層の盛土厚20cm(2.5cm/dの盛土速度に抑止)。地すべり計の観測により盛土中に異常な動きがあればすぐに盛土中止、載荷撤去できるような体制で盛土した。

注) Wn表示……不安定の判定基準に該当した場合にコンピューターに出る警告表示

①……S-δH法、②……ΔδH/4t法、③……S-δH/S法

ニ・コンピューターを導入した請負人もあった)。翌朝、観測データーが日報として公団の集中管理センターへ提出され、センターでの全体的な安定管理へ引き継がれた。また、毎日午後1時から全職員と作業責任者によって工事打合せが行われ、翌日の施工区間とその施工順序が決められた。この決定は、夕方の観測データーに基づく安定管理の結果で再検討された。更に、毎週金曜日には週間工程会議が開かれ、一週間の進捗状況や施工トラブルの検討を行い、動態観測班の提出する方針に基づいて翌週の施工計画が作成された。この会議には下請負人の世話役クラスまでが参加し、安定管理の状況を含めて工事の状況の認識の徹底が図られた。

4. あとがき

軟弱地盤における道路盛土工事を情報化施工という観点から見た場合、次のような問題がある。

- (1) 帯状に長い盛土であるため集中的な施工管理がしにくい。
- (2) 計器自体を含めて計測技術が遅れており、計測の自動化もしにくい。
- (3) 精度の良い破壊予測法の確立も不十分である。

北海道縦貫自動車（札幌～岩見沢）における情報化施工の成功は、こうした問題点にもかかわらず軟弱地盤における盛土の情報化施工という問題に真正面から取り組んだ結果であるが、その成功の理由を思いつくままにあげると次

のとおりである。

- (1) 請負人と公団による二重の施工管理システムにより二重のチェック体制ができ、慎重な施工ができた。
- (2) 監督者である公団からいえば、すべての現場を横並びで見ることができ、系統的な監督ができた。
- (3) コンピューターにより莫大なデーター処理が可能となり、図表の作成も便利になって、省力化、合理化ができた。
- (4) データー・バンク機能のおかげで現場間のデーターの突合せが容易になり、情報交換がスムーズにできた。同時にデーターの散逸防止も可能となった。
- (5) 情報化施工の立場からの公団の強力な指導により、現場全体に下請負人まで含めて情報化施工の認識が徹底し、動態観測班がイニシアチブを握る施工体制ができた。これは公団の絶え間ない指導と同時に、請負人自身の努力によるところが大きかった。

いずれにしても、コンピューターを用いた情報化施工のシステムを発注者である公団が採用したことは、システム自体の効果はもちろんのこと、公団と請負人の工事関係者すべてに動態観測中心の施工を行わずにいられない心理的、物理的効果をもたらした。当区間のような大規模な軟弱地盤はどちらかといふと例外的な現場であり、大型コンピューターを用いたそのシステムも一般的なものとはいえない。しかし、最近はミニ・コンピューターの発展が著しい。このシステムをミニ・コンピューター用に改良して一般の現

No. 1319

場へ応用することは容易である。今後そうした面へ広く応用されることが望まれる。

参考文献

- 1) 松尾 稔・川村国夫：軟弱地盤上の盛土施工に関する施工管理図，土と基礎，Vol. 26, No. 7, pp. 5-10, 1978.
- 2) 栗原則夫・磯田知広・遠藤 茂：軟弱地盤上の盛土の破壊予測に関する考察，土質工学における確率・統計の応用に関するシンポジウム発表論文集，土質工学会，pp. 123-128, 1982.
- 3) 持永龍一郎・栗原則夫：北海道縦貫自動車道(札幌～岩見沢)における軟弱地盤対策，道路，日本道路協会，昭和54年9月号，pp. 38-43, 1979.
- 4) 持永龍一郎・栗原則夫：岩見沢試験盛土における軟弱地盤の挙動の測定結果，土と基礎，Vol. 26, No. 7, pp. 11-17, 1978.
- 5) 宮下隆雄・栗原則夫・高橋朋和：泥炭地盤における高盛土試験工事，第14回土質工学研究発表会講演集，pp. 1621-1624, 1979.

- 6) 栗原則夫・高橋朋和：大規模な軟弱地盤における高速道路盛土工事の施工管理，土と基礎，Vol. 29, No. 3, pp. 37-42, 1981.
- 7) 栗原則夫・高橋朋和：軟弱地盤の盛土工事における情報処理システム，土と基礎，Vol. 29, No. 7, pp. 37-43, 1981.
- 8) 富永真生・橋本正治：側方変位の現地計測による盛土の施工管理について，土と基礎，Vol. 22, No. 11, pp. 43-51, 1974.
- 9) 栗原則夫・一本英三郎：動態観測の活用(道路盛土工における実施例)，昭和52年度土木学会関西支部講習会テキスト，pp. 71-81, 1977.
- 10) 柴田 徹・関口秀雄：盛土基礎地盤の弾・粘塑性挙動解析と破壊予測，土木学会論文報告集，第301号，pp. 93-104, 1980.
- 11) 栗原則夫・高橋朋和：盛土基礎地盤の破壊予測に関する考察，第14回土質工学研究発表会講演集，pp. 801-804, 1979.

書籍紹介

地震と土木構造物

久保慶三郎著

本書は、題名からもわかるように、土木の各種構造物について地震工学的観点から、震害・耐震設計法・研究事例についてとりまとめたものです。地震工学についての書籍は、既に数冊ほど出版されています。本書の大きな特色は、橋、トンネル、地下埋設管、地下タンク・地下道、盛土および堤防、港湾構造物、水道施設、ダムおよび電力施設の土木構造物全般にわたって、震害事例が丹念に調べてあることであり、他に類を見ないものです。各章で採り上げる研究事例(実物における地震動観測・振動実験、模型振動実験、理論的解析等)は、各種土木構造物の地震時挙動、震害と震害要因の解説にあてられています。また、各構造物ごとにその耐震設計法、耐震対策が述べられています。

近年、電子計算機を駆使した地震応答解析が、土木構造物の地震時挙動把握のため使われるようになってきました。しかし、破壊的地震の洗礼を受けていない土木構造物が現状では少なくありません。このような状況では、過去の破壊的地震の経験(震害)を実大実証実験と考え、その事例と震害形式との考察等から現代の耐震技術への示唆を得ることが、耐震技術の全面的発展のために、より必要と思われます。したがって、本書は、単に地震工学関係者ばかりでなく、土質・基礎工学関係者・学生にとっても、地震工

学の参考書・教科書として大いに参考になると思います。

本書は、以下の構成で執筆されています。

- 第1章 地震概説
- 第2章 破壊的地震
- 第3章 耐震設計法
- 第4章 橋
- 第5章 トンネル
- 第6章 地下埋設管
- 第7章 地下タンク・地下道
- 第8章 盛土および堤防
- 第9章 地盤の振動性状と破壊
- 第10章 港湾構造物
- 第11章 水道施設
- 第12章 ダムおよび電力施設
- 第13章 津波

付録1 振動学の基礎知識

付録2 道路橋耐震設計基準

付録3 文献一覧表

このうち、第3章、耐震設計法は、静的震度法の誕生の経緯が書かれているほか、静的震度法、修正震度法、応答変位法、動的解析法、外国の設計基準の考え方について述べられており、後に続く章の概論になっています。

(水野二十一)

B5判 279ページ 定価 3,400円

発行所：(株)鹿島出版会 電話 03-582-2251