

【論文・報告】

検見川高架橋の設計と施工

Design and Construction of KEMIGAWA Bridge

高橋 常之 *
Tuneyuki TAKAHASHI
 森谷 久吉 **
Hisayoshi MORIYA

〔要旨〕 三か年におよぶ工事を終えるにあたって、大型移動型枠工法による分割施工の連続桁の製作について報告する。

詳細設計で分割施工を採用することに決まり、設計と施工が一体となるプロジェクト体制で仕事に臨んだ成果は、現場に十分反映され、仕事の進行に大きな助けとなった。

分割施工のための設計上の留意点、大型移動型枠工法とともに施工上の問題点と現場での具体的な対処について、まとめ、報告した。市街地に近いことによる間接的な仕事への影響についてはふれられなかったが、施工を担当するものにとって、今後十分配慮・勉強する必要があると思われる。

1. まえがき

連続桁の分割施工には、ゲリュストワーゲン工法・ストラバーグ工法に代表される、機械式移動支保工による実績が、国外はもとより国内においても、昭和48年以来多数報告されている。今回、東関東自動車道検見川高架橋において、支保工を併用する大型移動型枠工法を用いて、連続桁の一部分割施工が行われた。この移動型枠の工法を中心に設計と施工の2点について報告する。なお、川田技報Vol.2(JAN. 1981)において報告した点については、重複をさけるようこころがけた。この機会に、再読みただければ幸いである。

2. 設計概要

2-1 設計条件

設計条件を示すと、以下の様である。

橋種	: プレストレストコンクリート道路橋
構造形式	: ポストテンション3径間(一部、2径間) 連続2主箱桁橋(フレンネー工法)
橋長	: 上り線: 2@35+3@37+3@37+(25+32) 下り線: 2@35+3@37+3@37+(40+43)
有効幅員	: 13.250 m (上下線とも)
活荷重	: TT-43, TL-20
衝撃係数	: $i = 10/(25+l)$, $i = 20/(50+l)$
横断勾配	: 5.0 %
縦断勾配	: ↗ 4.0 %, ↘ 2.359 %
斜角	: 90°
破壊安全度	: 1.3 × (死荷重) + 2.5 × (活荷重) 1.0 × (死荷重) + 2.5 × (活荷重)

$$1.7 \times (\text{死荷重} + \text{活荷重})$$

$$\text{たわみ度} : \delta_l = 1/600 \text{ 以下}$$

2-2 設計概要

施工方法は詳細設計段階で全体工程の関係から一部分割施工することとされたが、当社としては全面的に分割施工するかどうか比較検討し、その結果、施工に了解を得て分割施工による連続桁を製作することになった。基本設計は全支保工施工であり、工法変更にともなう材料の増減は、ピアノ線の接続具が主なものであった。¹⁾

分割施工の施工方法を図-1に示す。連続桁を張出し部分をもつ一径間の長さ相当のブロックに区分し、ピアノ線を接続しながら順次打継いで、最終的には一体となった連続梁を製作するものである。この工法のメリットは、全支保工一括施工に比較して、①作業領域を限定することによって施工管理が充分にいきわたる。②底板が先行していることにより、職種(鉄筋、大工、PC工等)の各パーティが連続して仕事をすすめることができる。この時、各パーティの必要人数が少なくてすむとともに作業のパターン化により熟練度が高まる。③支保工が最低二径間準備できれば、施工が可能であり、支保工材の転用を考えれば、経済性が高まる。という以上の三点があげられる。機械式移動支保工との比較についてみれば、支保工を接地式としているデメリットは指摘できるが、前項②に示したように、底板先行による作業の先取りが順次可能であるため職種別の作業フローに、切れ間が生じない点が強調できる。機械式移動支保工の場合、架設機械支持方法のいかんによって、本体構造物に架台反力

* 川田建設㈱工事部工事二課課長 ** 川田建設㈱工務部工務二課

として作用する荷重を考慮しなければならず、本体構造物へ架設時のための補強を加味しなければならない。という一面がある。以上の2点が、機械式移動支保工との対比であり、大型移動型枠工法のメリットである。

分割施工による張出し長は、インフレクションポイント付近とし、 $l = 7.848\text{ m}$ ($3@35\text{ タイプ}$)とした。PC鋼材として $12T12.4$ のストランドケーブルを使用し、フレシネー工法によった。緊張は分割施工のため片引きとなり固定側定着装置はデッドアンカー（モノグリップ方式）を用い、分割打継目では接続具（カップラーモノグリップ方式）を使用した。

また、横方向はRC構造である。

2-3 詳細設計上の特徴

2-3-1 分割施工について

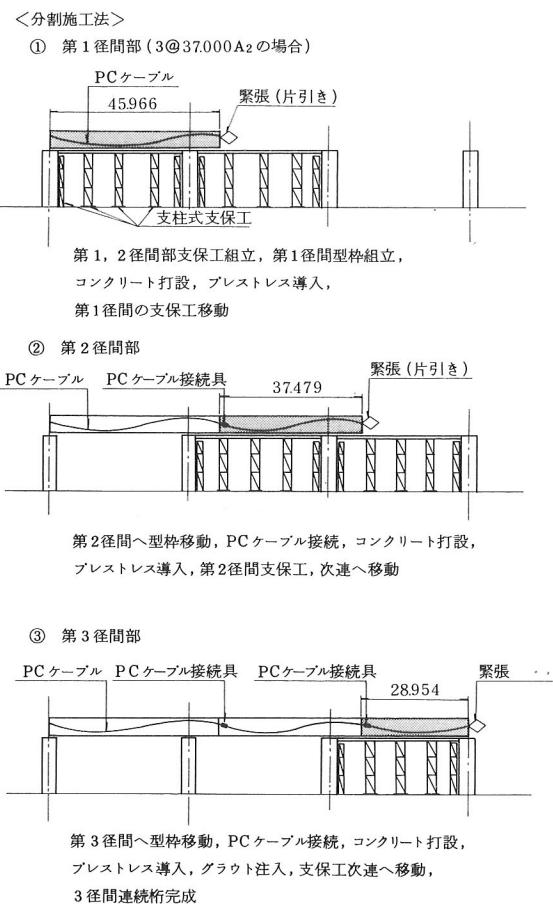


図-1 分割施工の手順

一径間毎に施工を進める当工法において最も大きな設計上の問題は順次構造系が変化していく点にある。施工段階ごとに、各径間の設計断面で発生している断面力は、施工サイクルに従って変化する。この断面力の変化に関与するものとして、コンクリートの材料力学的な特性（クリープ）がある。

構造系が変化して径間数が増す場合、コンクリート橋の場合は、材令の異なったコンクリートが連続していくことを考えなばならない。すなわち、系の変化という外的不静定力と、クリープという内的な不静定力の発生という二つの意味が認められる点である。さらに、時間の経過とともに進行していくクリープは、分割施工された持続荷重による断面力の最終構造系の値を、全支保工同時施工の場合の値に近付けていくようにも作用している。このような、系の変化による断面力の変化と、時間の進行に伴う断面力の変化、材令差からくる断面力の変化、を各ステップごとに応力計算し、断面応力の検討をする必要があった。

架設系と完成系のいずれで断面力が支配されるかという点については、移動型枠工法においては、一般の機械式移動支保工（ゲリュストワーゲン工法、ストラバーグ工法 etc.）にみられる、既設橋体に作用する移動支保工自重と打設コンクリート重量という、大きな架設時荷重を考慮する必要がまったくないために、完成時曲げモーメントで断面力は決まった。この点は特記すべきことであり、仮に架設時が支配するような場合には、架設荷重のための鋼材・資材が増加することを考えねばならない。

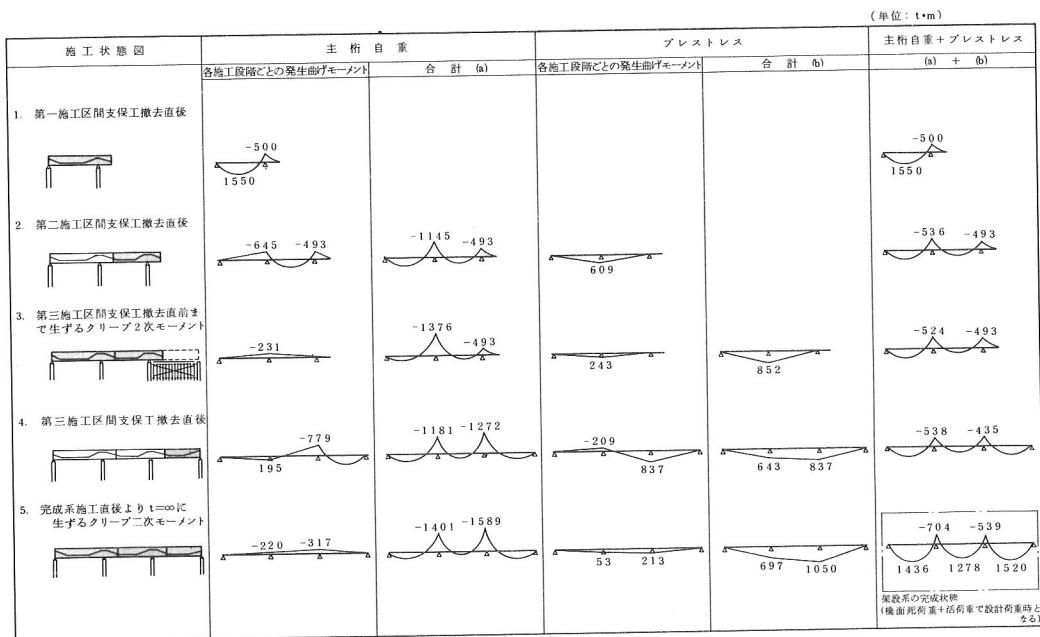
2-3-2 クリープ係数とサイクルタイム

主桁自重およびプレストレスによる二次断面力を求める計算において、分割施工からくるコンクリートの材令差を考慮したクリープ二次断面力を求めた。コンクリートの材令差の計算には、サイクルタイム30日、クリープ係数 $\varphi = 2.6$ を想定して設計計算をおこなった。¹⁾

2-3-3 施工段階毎の断面力の移行

断面力の移行の様子を表-1に整理した。主桁自重とプレストレスによる個々の要素を各ステップごと、各設計断面ごと求め、応力度をチェックできる。各ステップのクリープ2次モーメントが、材令差を考慮した分割施工を説明するうえでの特徴となるのがわかる。

表-1 施工段階ごとの発生曲げモーメントと集計値(3@35)



2-3-4 連続桁の分割施工方式と全支保工同時施工方式の設計比較

基本設計に従う施工方法(全支保工同時施工)と分割施工による設計上の比較を表-2に示した。PC鋼材応力度の摩擦損失による影響は、ケーブルが長くなるにつれて顕著となり、そのためにケーブル本数が多く必要となることを考え合わせると、ケーブルの経済長さとでもいうべき長さが決まって来ると考えられる。このことは、施工性だけから分割施工のメリットが唱えられて来た点を補い、資材の節減といつても考慮できることを示している。

表-2 分割施工と同時施工の設計比較

	分割施工	全支保工同時施工
構造系の変化	施工段階毎に変化する	構造系の変化はない
静定		
1次不静定		
2次不静定		
断面力の検討	施工段階毎に断面力を算出する。	
2次断面力	(1) 構造系の変化 (2) コンクリートの材合差によるクリープ2次 断面力 の二点について検討する。	弹性二次断面力(不静定力)のみ検討すればよい。
PC鋼材	片引張張とする。 ケーブル長が短く、鋼材にはプレストレス を有効に導入でき、経済的となる。 ただし、分割日地で接続器具が必要となる。	両引張張とする。 ケーブル長が長くなるため、摩擦による鋼材 に力の損失が大きくなり新たなPC鋼材の増加 が必要となる。

3. 施工時の検討

3-1 打継目でのケーブル接続

分割施工におけるケーブル接続についての検討をおこなった。既設径間の緊張終了後に、次径間の緊張が影響するのは、打継目での新ケーブルの応力度が旧ケーブルの応力度を上まわる場合である。

緊張時のセット量の問題はフレシネー工法、すなわち楔定着方式の場合の長所・短所の相方で論ぜられるが、その定着機構は、次のように説明されている。

- (1) 定着時にコーンおよびストランドに微小な疵^{きず}がつき、その分だけ引き込まれる。
- (2) ストランド自身の密着度が増加する。定着前は機械的にによってあるので、各より線間に空隙があり、密着時に密着するため、その空隙分だけ引き込まれる。

12T12.4については、設計上 $\Delta l = 12\text{mm}$ のセット量が、上記二項の理由による戻り量である。従って、この 12mm に相当するプレストレスの減少が生ずることになる。実際に、既設径間の打継目の鋼線応力度が、セット量の影響で減少する。この減少が、次径間緊張による打継目の鋼線応力度との比較を必要とする点であり、図-2に示す応力線である。コーン定着端の鋼線応力度を上回る緊張力が作用した場合、雄コーンが分離し、ストランドが引抜かれた状態になることが実験的に報告されている。²⁾この報告によると、抜き出るに必要な引張力

は定着時の1.02倍である。図-2の場合②断面のストランドの引き抜けによる応力増加を試算してみると、平均値で上縁- 2.3 kg/cm^2 (-0.23 MPa)、下縁+ 3.7 kg/cm^2 (0.36 MPa)であった($e_p = -12.8 \text{ cm}$)。インフレクションポイントとして軸圧縮力 20.3 kg/cm^2 (2.0 MPa)が作用していることより、設計上問題にしないこととした。この問題はグラウト時期とも関連するものであり、径間ごとにグラウトを実施する場合は、打継目でのストランドのもどりは生じないこととなる。

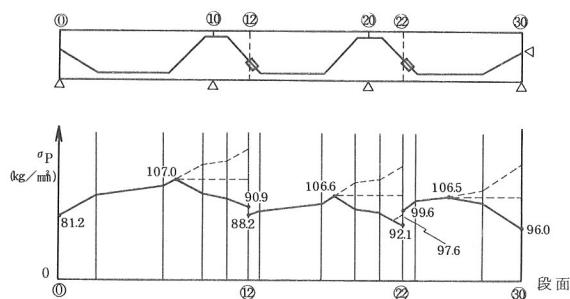


図-2 緊張応力度の分布(3@37)

3-2 可動支承の仮固定

一径間ごとの分割施工とするため、施工途中の区間ににおいて両支承とも可動となる径間が発生した。これでは緊張およびクリープ・乾燥収縮等による変位量管理が不明瞭となるので、一方の可動支承を仮固定し他方の可動支承のみ変位を許す必要が生じた。

可動橋脚を仮固定するため、固定橋脚としての地震時の検討を加えた。この時橋脚に作用する反力は、第一施工区間分の橋体自重のみである。

仮固定装置(図-3)の開放時期は、第2施工段階の緊張直前とし、本支承と仮固定のもりかえに空白の時間のないよう配慮した。

支承の移動量は、仮固定期間の伸縮量を求め、残りの移動量を本支承もりかえ後の移動量として算出した。本工事でP12を仮固定した理由は、遊間の確保を意図したためであり、P12を仮固定した場合の支承(P12)の最終移動量34mmと、P13を固定した場合のP12の最終移動量45mmを比較し、前者が仕切り型枠厚(合板22mm+コンパネ10mm)を含めて遊間を確保するためである。

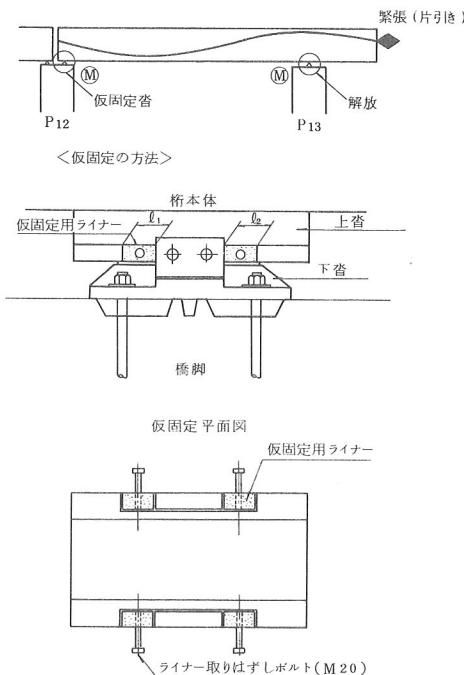


図-3 仮固定の方法

4. 施工

4-1 工事概要

工事名：東関東自動車道検見川高架橋(PC上部工)工事
路線名：高速自動車国道東関東自動車道 市川～潮来線
工事か所：(自) 千葉市真砂2丁目32番地の1(STA131+47.216)
(至) 千葉市検見川5丁目2213の15番地先
(STA 134+74,216)

工 期：(自) 昭和54年3月20日

(至) 昭和57年2月16日

施 主：日本道路公團東京第一建設局 市川工事事務所

材料総括：表-3

実施工程：表-4

工事施工順序：図-4

表-3 材料総括表

項目	仕様	単位	数量
コンクリート	P3-2	m ³	7939.3
	B1-1	m ³	592.0
鉄筋	P2	ton	1425.9
PC鋼線	12-Φ12.4	kg	237.4×10^3
支承	A1	kg	77853
	A2	kg	71454

表-4 実施工程表

施工場所	年月	昭和54年 3~11 12		昭和55年 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12										昭和56年 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12										昭和57年 1 2 3				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
上り線	A1-1																											
	A1-2																											
	A2-1																											
	A2-2																											
	年																											
	A3-1																											
	年末																											
	A3-2																											
	年																											
	A3-3																											
下り線	A4-1																											
	A4-2																											
	A2橋台																											
	B1-1																											
	B1-2																											
	B1-3																											
	B2-1																											
	B2-2																											
	B2-3																											
	B3-1																											
	B3-2																											
	B3-3																											
	B4-1																											
	B4-2																											
	A2橋台																											

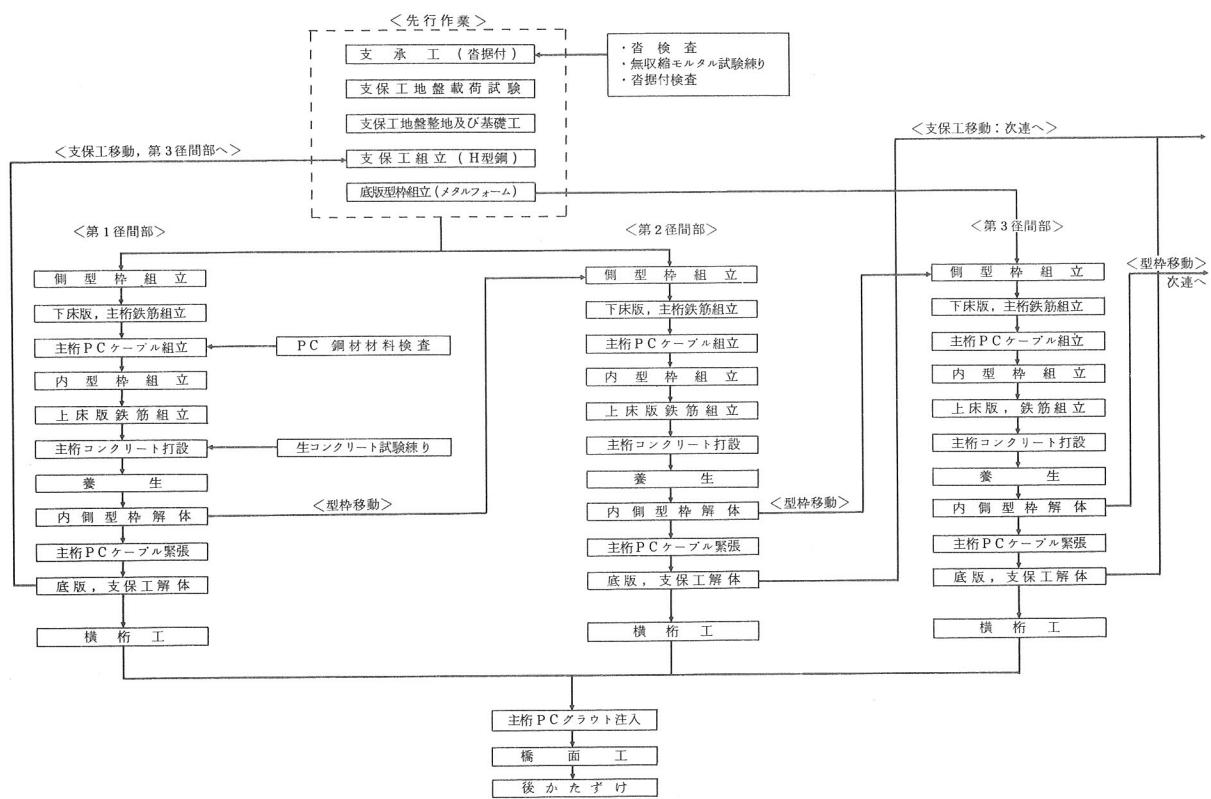


図-4 工事施工順序

4-2 支保工

本工事において、採算面、工程面のいずれをとってもクリティカルな要因となったのは、支保工組立であった。接地式支保工に決まった理由に、

- (1) 下部工の施工工期との関連で、片押しの連続作業ができないことが予想された。

(2) 機械化施工(移動支保工タイプ)で考慮される、装置重量のための下部工補強、上部工補強が必要ない。

(3) 架設地点の立地条件から、地山のり面(ブロック積み)が橋体に接してあり、現場合せの支保工で対処する必要が認められた。

の三点があった。以下、特色ある支保工について、今後

の支保工組立の参考となればと思い列挙する。

支保工タイプは、H鋼山留ペント・H鋼梁・ビティの組合せといいうのが基本パターンであった¹⁾(図-5)。本線21径間の支保工のうち、標準タイプの支保工がセットできたのは12径間であり、ビティ支保工区間は3径間(工事用道路開口部には山留ペント使用)，残りの6径間は、現地合せの四角支柱ペントによるH鋼梁・ビティの組み合せによる支保工となった(図-6)。

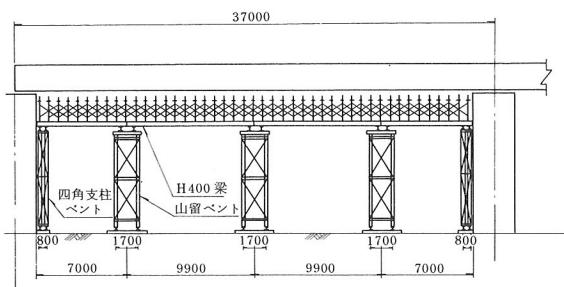


図-5 標準タイプ(山留ペント)支保工

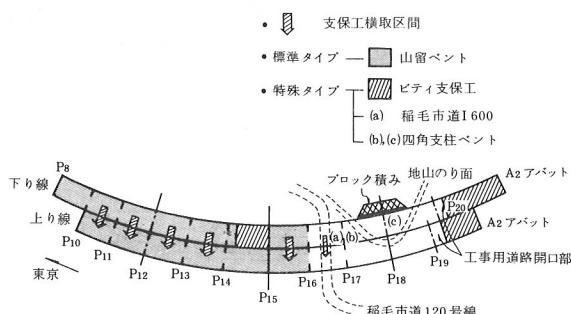


図-6 支保工タイプの分類図

4-2-1 稲毛市道上のH300×600梁(P16-P17)

P₁₆-P₁₇区間には市道の稲毛120号線が通過しており、市バス・通勤・通学者等生活道路としての機能をそこなわないで工事をすすめることが必要であった。既設の山留ペントの利用を基本とし、スパン13.50mをH300×300×14×23を梁とする支保工を計画したが、問題点は支保工の沈下量とH600梁のたわみ量の想定であった。山留ペントについては十分な耐力が得られていたので、2倍の荷重を受ける地盤耐力がチェックポイントであった。結果は整地地盤(鉄板敷のための整地)の不等沈下を含めて、地耐力試験の予想値を上まわるもの



写真-1 稲毛市道上I600ビーム支保工概観(P16-P17
下り線、タイプ@)

となった。たわみ管理の要素を考えるとき、①地盤沈下、②支保工部材のなじみ・たわみ、③底板部材のなじみ、そして④桁のキャンバー量が必要となる。標準タイプ支保工の実績をふまえるならば、上記のうち、①と②については、予想値を十分満足するものであった。この手順でH300×600ビームに変更したことによるたわみの計算を

$$(計算値) \times 0.7 = \text{予想値}$$

としてたわみの合計量とした。ところが実際には、

$$(計算値) \times 1.0 = \text{実測値} > \text{予想値}$$

となったため、たわみ量過多となって、上床版高さのチェックでも、予想を上回る低下となった。この教訓は、地耐力試験値に整地地盤の安全率を考慮すべきこと、H鋼のたわみの割引を考えてはいけないこと、の2点にまとめられる。ただし、実測値による計算値の修正(H400×400×13×21梁の場合は70%)は必要であり、ケースバイケースで慎重に対応せねばならない。

Bライン(下り線)の教訓をAライン(上り線)の施工時に反映させ、Aラインではトラブルは生じなかった。この時の支保工はBラインからの横取りによるものであり、地盤整地の均一化を促進し、たわみ計算に実測値を投入している。

横取り・解体の二工種については、公道を遮断することから夜間作業となった。実施は予備日を使うことなく終了し、第三者に対するトラブルもなく無事故で完了した。この時、H600の解体に自由度の高い油圧クレーンである15t吊ラフターを使用し、作業能率を上げることができた。

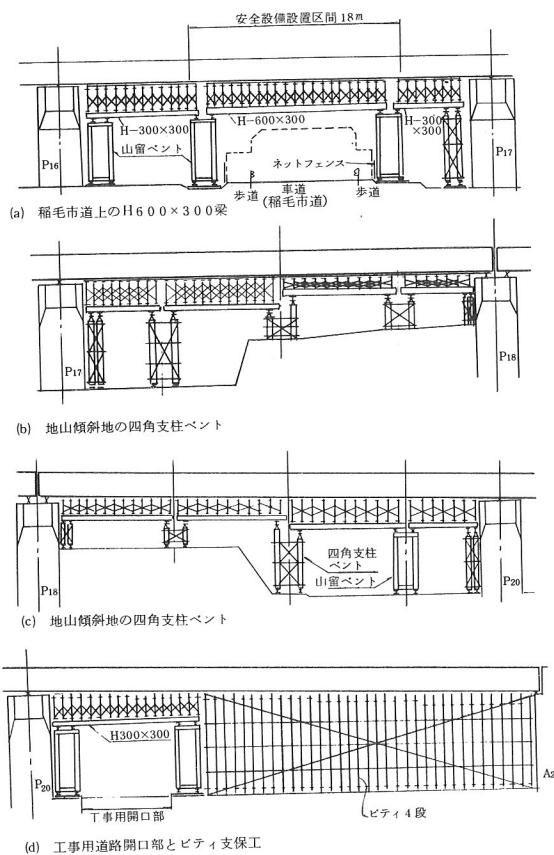


図-7 特殊な支保工タイプ

4-2-2 地山傾斜地の支保工 (P17-P18-P20, 上下線)

P₁₈ 橋台付近を中心とする地山が標準タイプの支保工の使用を不可能とした。海岸部から内陸部へ本線が切り込んでいく、ちょうど接点にあたる P₁₇-P₁₈-P₂₀ 区間では、頂部に在る民有地の防護のためにブロック積みが行われており、そのためのフーチングを保持する地山の掘削が認められなかつたために、この区間では、原地盤に適応できる支保工というパターンとなった。山留ペントに変えて四角支柱の組み合わせでペントを製作し、H鋼梁を受ける形式としたため、この区間のための新規支保材が多量に必要となった。

問題点の第一は地耐力の問題であった。地山とはいえブロック用フーチングのための掘削・埋め戻し、P₁₈ フーチングのための掘削・埋め戻しのくりかえされた部分で、支保工地盤の耐力をいかに想定するか。結果的には、四角支柱によるペントに幅をもたせ、荷重の分散をはか

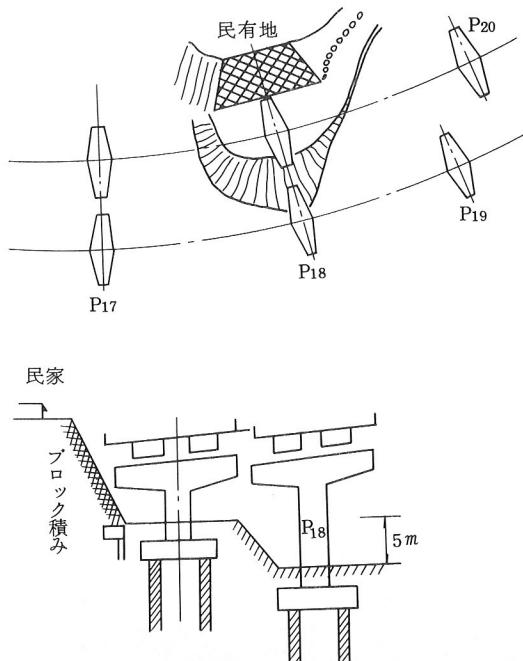


図-8 地山傾斜地の支保工 (P17-P18-P20)

写真-2 P₁₇-P₁₈ 間、地山のり面整地作業 (Aライン、タイプ@)

り整地地盤の締め固めを十分に図る形で対応した。良質な砂層がベースであったため、トラブルはなかったが、四角支柱ペント組立のための人工数と資材量の増分は特記される。また、ブロック積み付近は橋体との純間隔が、1.5 m であり、現場合の補強方法をとらざるをえず、計画的・合理的な施工をめざす基本方針とは相入れないものとなつた。

三径間が全ビティ支保工となったのは、山留ペントの転用を待てないという工程的な要因が第一の理由であつ

た。ただし、P₁₄—P₁₅区間（Bライン）については、下部工立ち上がりを待つため（写真-3），Aラインが先行し、ちょうど袋小路状態で作業が実施されるパターンとなったため、ビティ支保工が採用された。橋台付近のビティ支保工は、桁下のクリアランスも小さくなり、ビティ支保工で対処しても十分に対応できるところであった。工事用道路開口部の切りまわしによる段取りがえに、山留ペントが威力を発揮し、工期短縮に貢献した。

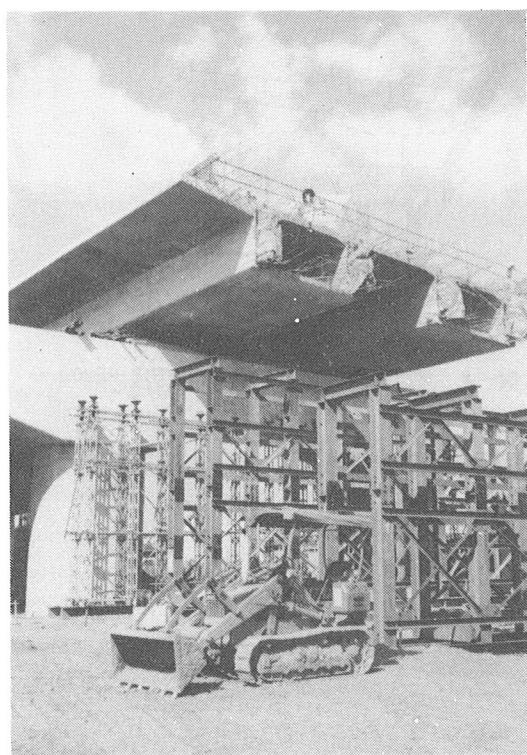


写真-3 P₁₄—P₁₅間、工事中止により張り出し状態で待機中の（Bライン、ビティ支保工予定）

4-2-3 A₂アバットの吊り支保工

橋体の緊張スペースを確保するためと、移動型枠を引出すための2点から、A₂アバットのパラペット・ウイング・RC床版が、後施工で、当工事に組み込まれた。問題となった点は、高さ10mにおよぶ橋台へのRC床版をいかに施工するかであり（図-9），そのために、

- (1) ビティ支保工による打設（作業孔必要・後埋閉合）
- (2) 吊り支保工（型枠埋め込み）
- (3) プレキャストRC床版（製作ヤードの確保と重量クレーンの手配）

の三案が比較されたが、施主の型枠埋め込みの了解が得

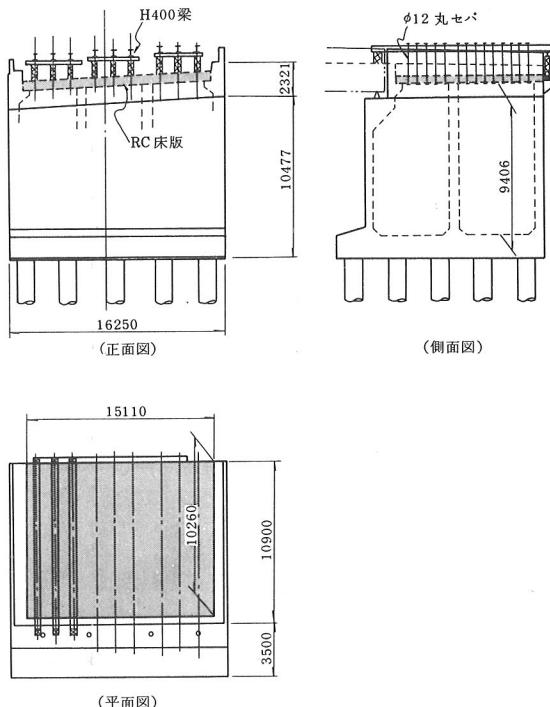


図-9 A₂アバットRC床版の吊り支保工

られ吊り支保工案を実行した。吊り材としてH400, 1.2mもの9本が新たに必要となった以外、丸セバ12mmが用意されたくらいで、底板材料と大引（五寸角）の利用で対処できた。とくに、後かたづけが吊り材の切断とH鋼の撤去だけの、わずか半日で終了したことは、アバット引渡しのために大いに効果があった。

4-3 施工一般

コンクリートの上床版均しにコンクリートフィニッシャーを使用した。採用理由として、

- (1) 有効幅員13.250mで等しく、延長が7.59mにおよぶこと（10,057m²）
 - (2) 横断勾配が全区間5%であること。
 - (3) ポンプ車2台の打設速度と、上床版の均しとの速度が一致しなければならない。
 - (4) ほうき目仕上げである。
- の四点があげられた。

フィニッシャーの走行レールは、受け金具によって支えられ、高さ調整のためのカッplerをビニールテープで止めることによって、高さ調整と金具・カッplerの転用を可能とした。このレール高さが、床版仕上げ面の

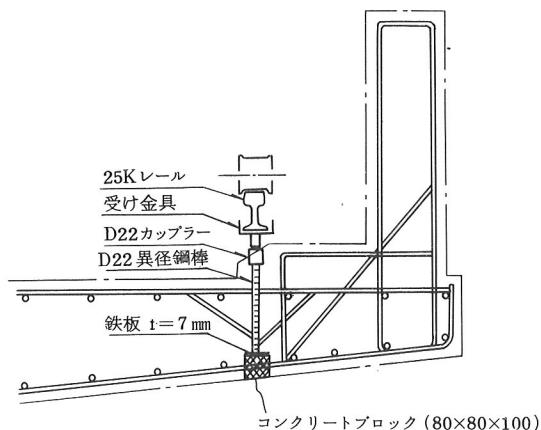


図-10 フィニッシャー・レールの固定



写真-4 コンクリートフィニッシャー、作業台車による天端均し状況

高さを決めるポイントとなり、レベルによる測量でセットした。自走できるフィニッシャーは、箱型バイブルーターを三基内蔵し、余分な生コンを押し集めていくことができ、装置の背面では仕上げのコテを一回入れることによって十分な仕上がりとなった。作業台は、手押しによりレール上を移動し、ほうき目と養生剤の散布に使用した。

5. あとがき

分割施工の大型移動支保工によるケースを報告した。分割施工によって、全支保工一括施工にないメリット、(1)施工管理の充実、(2)作業のパターン化とサイクル化、(3)支保工の転用、を指摘した。また、分割施工で主流を占める機械式移動支保工に比較して、架設時荷重を考慮しなくて良い設計上のメリットを示した。特に今回の場

合は、下部工の施工工期との関連で、片押し施工が不可能であるとした判断に基づき、接地式分割施工を採用したことの妥当性についても触れた。

設計と現場を一体化させるための、詳細設計段階からのプロジェクト体制は、設計時点での検討を考えねばならないという大型工事の事例どおり、的を得たものであり、限られた工期内で無事故で仕事をすすめる原動力となったことを強調したい。

最後に、本橋をまとめるにあたって、日本道路公団の方々をはじめ、川田・安部共同企業体の各位に深謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1). 森谷、森本：分割施工の設計と施工、川田技報、Vol. 2 (JAN. 1981)
- 2). 北陸自動車道、金沢高架橋 (P C 上部工) 工事工事誌、昭和 53 年 10 月。