

PCゲルバー桁架替えに伴う永久定着装置の開発と研究

— 名神高速道路石山高架橋 —

横井 健次*1・渡辺 泰行*2・長橋 弘和*3・高橋 寛正*4

1. ま え が き

名神高速道路は、わが国で最初的高速道路として昭和38年7月に栗東IC～尼崎IC間が開通、昭和40年7月には全線が開通し、陸上交通の大動脈として国民生活の向上と産業経済の発展に寄与してきた。しかしながら、開通以来、既に32年が経過した現在では、当初の予定の2倍を超える交通量の増大に加えて、車両の大型化により、構造物の疲労、老朽化が問題となっている。特に瀬田西IC～大津IC間に位置する石山高架橋のゲルバー桁は昭和49年にゲルバー受桁部にクラック等の損傷が認められて以来、種々の補修・補強が行われてきたが、損傷の進行をくい止めることができないことから、今回、抜本的な補強対策を講じる必要が生じた。図-1に石山高架橋の全体図を示す。

対策検討にあたっては、約9万台/日に迫る利用交通に

極力影響を与えないこと、鉄道および道路との交差、さらに人家連坦地域での狭小な作業スペースでの工事であるなど、施工上の多くの課題をクリアする必要があった。

平成4年度～平成7年度の間に「名神高速道路橋梁老朽化対策検討委員会」（委員長埼玉大学島田教授）で上記の諸条件をクリアした、損傷部の抜本的な対策工について審議した結果、損傷の著しいP1～P2のコンクリートゲルバー構造部を撤去し、新たにPC箱桁を架設する方針とした。しかし、ゲルバー構造部を切断撤去するには、既設PCケーブルをP1、P2支点上で仮固定させる必要が生じた。そこで、ゲルバー構造部の切断撤去の準備として既設PCケーブルを支点上で中間定着装置を利用し定着させた。この中間定着装置は、装置とPCケーブルの間に膨張材を注入し、その膨張圧（400kgf/cm²）により、PC鋼線切断時の引込みを抑制するものである。

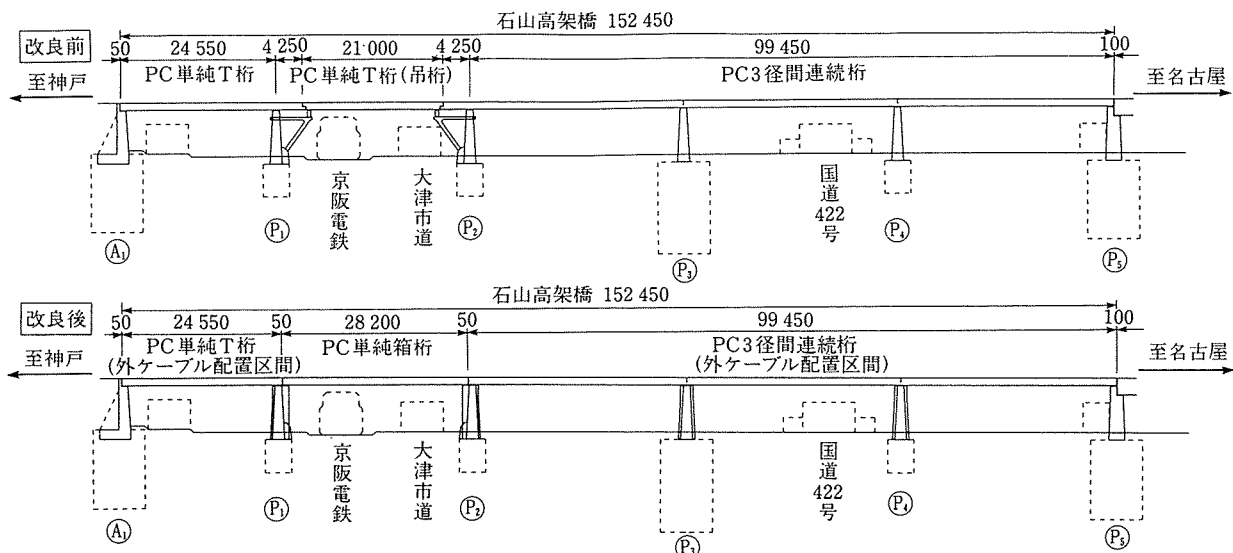


図-1 石山高架橋全体図

*1 Kenji YOKOI：日本道路公団 名古屋管理局 豊川管理事務所 所長
 *2 Yasuyuki WATANABE：日本道路公団 名古屋管理局 保全第一課 課長代理
 *3 Hirokazu NAGAHASHI：名古屋道路エンジニア(株) 構造技術課
 *4 Hiromasa TAKAHASHI：(株)ピー・エス 大阪支店 土木技術部

◇研究報告◇

部材切断に際しては、導入されているプレストレス力が、既設グラウトの付着と中間定着装置によって保持される。そしてその既存導入力をさらに確実に保持する永久アンカー固定定着具を設置して、構造系変更によるプレストレス力を長期的に確保しようとするものである。

本稿では、当該橋に使用されている緊張材（40/42-φ5mm）の切断後も、既設導入力を長期間保持するための定着方法に注目し、定着装置の提案から性能、作業性の確認に至るまでの検討結果について、経過に沿って報告することとする。

2. 永久定着装置の検討

2.1 永久定着装置の提案

基本設計では、40または42本のφ5mm P C鋼線からなる緊張材に対し、永久アンカー固定定着具として7本を1束、6束のケーブルを1つのアンカーヘッドに各々ウエッジで定着する装置が示されていた。

本工事の詳細設計、施工計画に際し、種々の検討を行った結果、次のような課題が判明した。

① 定着性能について

・7本1単位としたウエッジ定着では、個別 P C鋼線が別挙動すると完全な定着機能が損なわれる。

② 作業性について

・現存緊張材配置が近接（最小間隔65mm）しているため、アンカーヘッド（φ100mm）や充填容器の設置が困難。

・定着装置は、多くの部品から構成されており、また P C鋼線を単位分けしてアンカーヘッドにセットするた

め、作業時間がかなり必要となり、所定時間内の作業が困難。

上記課題を解決する方法として、個別の P C鋼線に各々自動チャック（図-2、写真-1 参照）を装着し、直接コンクリートに埋設する40または42本を1体とする定着方式が提案された。

2.2 検討項目

(1) 定着性能

自動チャック個別の定着性能は、単体およびコンクリート埋設による引抜試験を実施し、定着効率が95%以上であることを確認する。また緊張材としての定着性能についても確認する。

(2) 作業性

模擬試験体（プラスチック製）による作業時間等の観測を実施、計画行程時間内に納まることを確認したうえで実物の自動チャックを用いた模型試験による作業性試験も実施し、所定時間内に余裕をもって施工できることを確認する。

3. 永久定着装置の試験

3.1 定着性能の確認試験

本定着方法は前例もなく、特殊条件の下で施工が行われることから、考えられる検討項目を明示し、実験で確認したうえで定着方式として採用するものである。

この観点から次の3項目に分けて性能確認実験によりその健全性を検討することとした。

試験項目

- 1) 個別自動チャックの P C鋼線定着性能（静的、繰返し）定着効率、めり込み量
- 2) コンクリート埋設時の自動チャックの定着性能
- 3) 緊張材としての定着性能

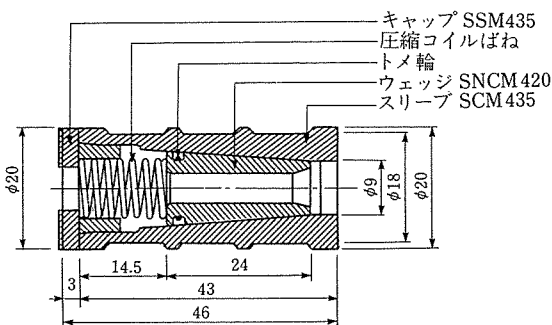


図-2 自動チャック詳細図

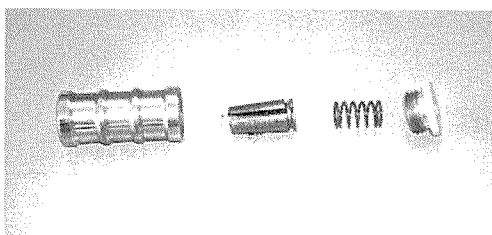


写真-1 自動チャック詳細

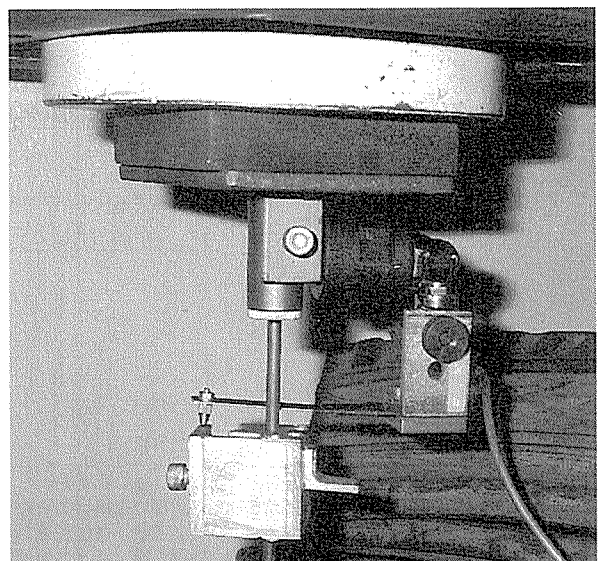


写真-2 静的定着性能試験状況

(1) 個別自動チャックのPC鋼線定着性能

1) 静的定着性能

試験方法は、土木学会基準「PC工法の定着具および接続具の性能試験（案）（JSCE・E・503-1991）」に基づく「定着具および接続具の緊張材と組み合わせた性能試験」により行われた。（写真－2参照）

判定は土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕（平成8年制定）27章「プレストレスコンクリート」27.10.3「定着具および接続具の品質管理および検査」に基づく判定基準により行った。判定基準を以下に示す。

$$\text{定着効率} = \frac{\text{引張荷重}}{\text{規格引張荷重}} \geq 95\%$$

結果は、平均定着効率は106%で満足のゆくものであった。また、ウエッジの平均めり込み量としては、0.9fpy（プレストレス中最大許容引張荷重）時で1.44mmの結果を得た。

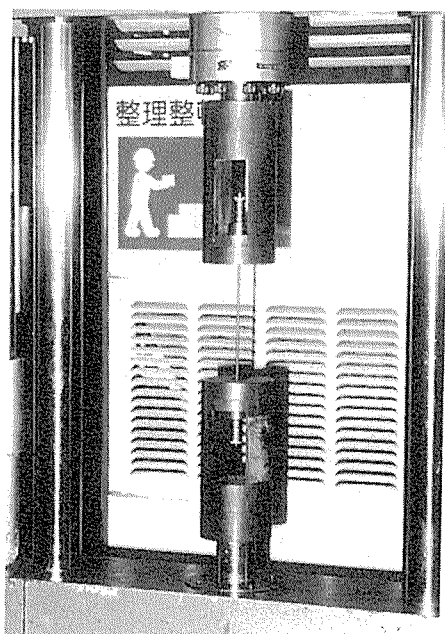
2) 動的定着性能（繰返し荷重によるもの）

試験方法は、旧国鉄のPC枕木で規定されていたプレストレスコンクリート用鋼材の疲労に関する条件に従い、サーボパルサー型10t縦型疲労試験機を用いて行った。

試験条件を表－1に示すが、繰返し回数は100万回とした。写真－3に試験状況を示す。

表－1 繰返し載荷条件

応力振幅	100 N/mm ²
上限荷重	22.24KN
平均荷重	21.26KN
加限荷重	20.82KN
繰返し載荷速度	5HZ



写真－3 疲労試験状況

結果は、PC鋼線の破断もなく、また定着具の異常も認められなかった。

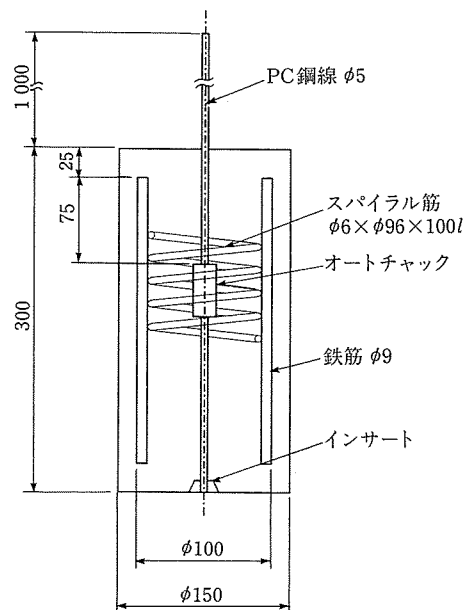
(2) コンクリート埋設自動チャックの定着性能

本試験は、試験定着具（自動チャック）にφ5mm PC鋼線（1本）を通した状態でコンクリート供試体ブロック内に埋め込み、PC鋼線に引張力を与え、定着性能を確認した。この場合自動チャックは、両端面にセメントペーストの流入防止のための防水ビニルシートをあらかじめ装着したものが装着された。

引張試験は、コンクリート供試体ブロックの設計基準強度が49N/mm²に達した時点でPC鋼線を引き抜く方法で実施した。PC鋼線はあらかじめ引張方向と逆側のコンクリートブロック端面から数センチ突き出しておき、引張試験時の鋼線の引込まれる量も測定した。図－3に引抜試験体、写真－4に引抜試験体の製作状況を示す。

結果としては、PC鋼線の挙動（荷重一伸びまたは移動量）は前頁で得られたデータと大差なかった。また、

自動チャック定着性能試験供試体



図－3 自動チャック定着性能試験体



写真－4 引抜き試験体製作状況

◇研究報告◇

除荷後コンクリート供試体ブロックを調べた結果、試験定着具内部にセメントペーストの流入がないことも確認された。

(3) 緊張材としての定着性能

本定着方式による緊張材としての定着性能を調べるため、試験は供試体に埋設したP C鋼線束を引き抜く方法（引抜き試験）にて行うこととした。そして埋設自動チャック近傍のP C鋼材ひずみや拔出し量、補強筋、コンクリート表面のひずみ性状、外観変状を観察することによって定着体としての適用性ならびに定着部の補強方法を検討するための資料を収集した。

1) 試験方法

i) 供試体の形状、寸法

供試体は図-4に示すように300*300*800(B*H*L)で、全長800mmのうち300mmが既設部、残り500mmが後打ち部に相当する。供試体は、P C鋼材(42-φ5)を供試体の終端から450mmの位置で絞りリングにて束ね、そこから長さ約350mmの範囲で自動チャックを装着した緊張材を断面中央にセットし、コンクリートを打設する。なお、緊張材の長さは、土木学会基準「P C工法の定着具および接続具の性能試験方法（案）」を参考に露出部長3m以上（含む既設部）とした。

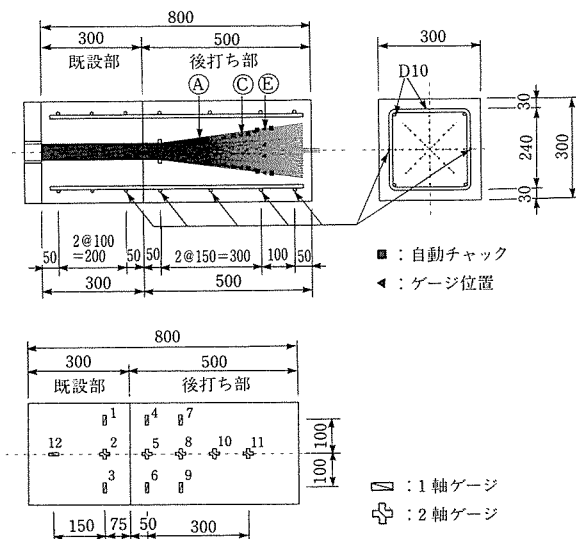


図-4 No.3供試体配筋およびゲージ配置図

ii) 試験体製作

試験体製作要領を表-2に示す。同表に示すように

表-2 供試体の製作要領

	自動チャック		フープ筋(D13)		スパイラル筋	
	有	無	@100	@150	有	無
No. 1	○	-	○	-	○	-
No. 2	○	-	○	-	-	-
No. 3	○	-	-	○	-	-
No. 4	-	○	-	○	-	-

製作要領としては、自動チャックの有無、かこみ筋量およびスパイラル筋の有無に着目し、4供試体を製作した。

iii) 測定項目

以下の項目について測定観察を行った。

・鋼線のひずみ

主に、自動チャック取付け位置前後のひずみを測定し鋼材の応力伝達を把握する。

・かこみ筋のひずみ

原則としてかこみ筋（フープ筋）一本当たり2点ひずみを配置し拘束応力を測定する。

・コンクリート表面ひずみ

コンクリート表面にひずみゲージを貼付し、軸方向圧縮ひずみおよび軸直角方向割裂ひずみを測定する。

・外観変状

ひび割れ発生後、適宜ひび割れ状況を観察し、マーキングする。

供試体のひずみゲージ取付け位置と配筋状態の一例として、No.3供試体を図-4に示す。また、自動チャックおよびゲージ配置位置を表-3に示す。

表-3 自動チャックおよび、ひずみゲージ配置位置

取付位置 (前面からの距離)	440	505	570	635	650	700
取付個数	8	8	8	8	2	8
ひずみゲージ (取付点数)	-	○ (2*2)	○ (2*2)	○ (2*2)	-	-
ゲージ記号	-	A:2点 B:2点	C:2点 D:2点	E:2点 F:2点	-	-

iv) 荷重要領

図-5に荷重要領概念図を示す。同図に示すように定着供試体から荷重台を介して伸びたP C鋼材束に、カップラーでテンションロッドと接続し、100tfのセンターホールジャッキで荷重した。荷重荷重は設計荷重時の許容値の最大値である95tfとし、5tfピッチで単調増加させ、そのつどデータをサンプリングした。

なお、その際ひずみを測定するP C鋼線のゲージの取付位置と枚数は供試体No.4を除くと表-3に示すように自動チャックを取付けた3つの位置グループの中から各2本のP C鋼線について、自動チャック前後50mmの位置に各1枚貼付した。また、No.4供試体には自動チャックを配置していないため、チャック位置に1枚、合計6枚貼り付けた。

2) 試験結果と考察

試験結果の例として、供試体No.3に対する自動チャック前後のP C鋼材ひずみとコンクリート表面の割裂ひずみを図-6、図-7に示す。

・緊張材の定着性能について

今回の試験では荷重荷重として緊張直後の張力（約

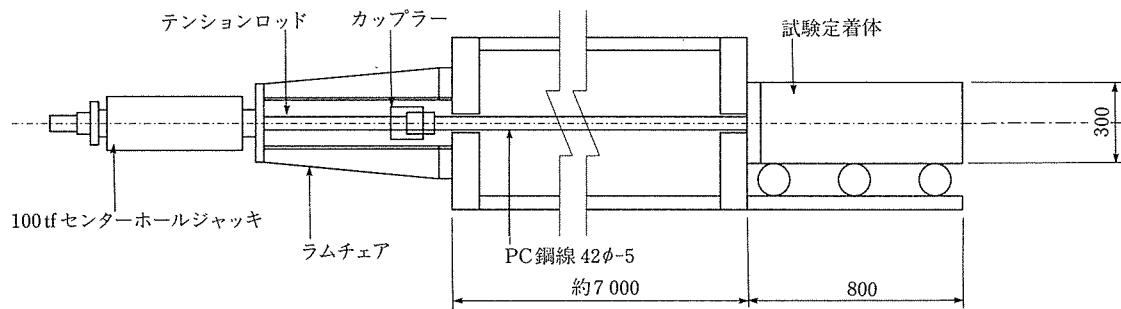


図-5 載荷要領概念図

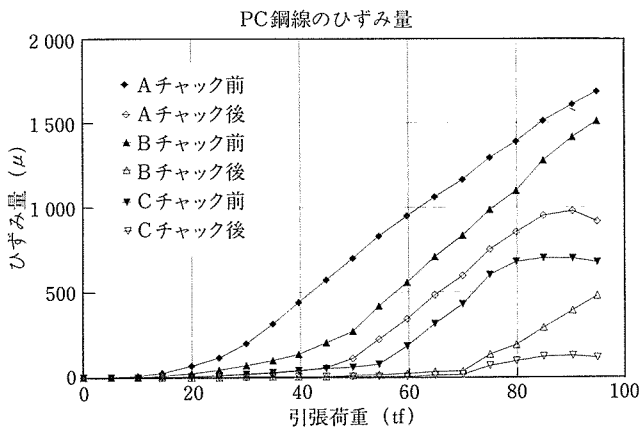


図-6 PC鋼線のひずみ量

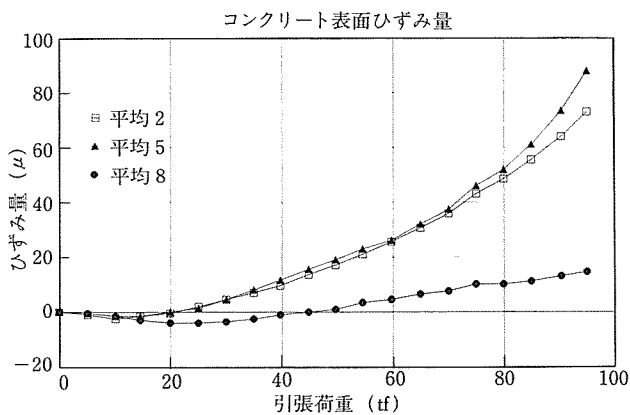


図-7 コンクリート表面ひずみ量

95.5tf) までの載荷であり、耐力を見極めるまでには至らなかった。しかし、それまでの観察により次のようなことがらが推察される。

i) 全供試体とも緊張材として同様の挙動を示しており、自動チャックの有無に拘わらず定着性能は確保されている。

ii) 緊張材を構成するPC鋼線素線の定着位置の相違によるPC鋼線長に係わる応力差は、自動チャックのセット量により吸収され適度の応力分散が行われる。

iii) 緊張直後の張力以上の荷重に対しては、自動チャックのセット量によりPC鋼材の移動が生ずるが、所定の移動が完了した後は確実に定着されることが個別自動チャックの定着性能試験で確認されている。

ヤックの定着性能試験で確認されている。

iv) 自動チャックが同時にすべてのセット量が生じたとし、緊張材がグラウトによる付着が全くないと仮定したとしても、隣接支間中央での当該プレストレスの減少量は1%程度で、当該橋梁の設計には影響しない。

・補強筋について

今回の試験では供試体数に限りがあり、また載荷荷重が緊張直後の許容引張力までという結果から判断するのは非常に無理があるが、あえて見解を示せば以下のことが推定できる。

i) スパイラル筋の効果は必ずしも顕著ではないが、コンクリートの割裂応力の分散には有効といえよう。

ii) フープ筋量の多少はコンクリートの割裂応力の生じ方には影響せず、PC鋼線分散定着部の基部(扇状のかなめ部)に割裂応力が集中する傾向がある。このことは、この近辺に補強筋を確実に配置する必要性を示している。しかし、この断面(30cm*30cmの供試体)においてひびわれが目視されない程度なので、実橋断面では周辺コンクリートの拘束を考えればさほど大きくならないと推察できる。

iii) PC鋼線分散定着部基部近辺より、拡散方向へ少し離れば割裂応力は極端に減少するので補助筋の配置範囲は極く限定的でよい。

3) 評価

本緊張材の定着性能としては、自動チャックの有無に拘わらず同様の挙動を示しているが、さらに大きな引張力や繰返し引張力が生じた場合、またPC鋼線が個別の動きを示した場合を考えれば、自動チャックは確実な定着を確保するものといえる。この定着方式に対する補強方法も理論的に考えた配筋でよいが、その位置および領域に注意して配置しておけば良いことが分かった。なおこの場合、1本の緊張材の割裂応力に対する補強筋についてのものであり、実橋のように数本をまとめて定着する場合は、別途解析する必要がある。

3.2 作業性の確認試験

本工事において、P1~P2径間のPCゲルバー構造部分

◇研究報告◇

を切断後、永久定着を取付けてP C鋼材(42-φ5、40-φ5)の張力を保持する。

この作業は施工空間・施工時間などに対して、非常に厳しい制約条件がある。よってできる限り現場の施工条件(実物と同じ寸法・配筋の模型試験体を製作し実作業空間の確保)に近づけたかたちで、2種類の方法によるはつり作業・自動チャック方式(シングルタイプ)による永久定着の取付けを行い作業時間を測定し、作業方法の見直し・改善の検討を行った。

(1) 試験項目

次の項目の施工性確認試験を実施し、①～④の項目の作業時間の測定を行った。

① はつり工

- A. コアボーリング+超高圧水はつり工
- B. コアボーリング+人力はつり工

② 永久定着工

③ 切断鉄筋復旧工

④ 横桁鉄筋組立工型枠工

⑤ はつり部コンクリート打設工

上記①～⑤について、次の点を検討する。

- ・作業時間
- ・工具、機械等の作業性
- ・作業時間短縮の対策
- ・安全確保の対策

(2) 模型試験概要

模擬定着具による予備試験において、施工空間および施工時間に着目して永久定着具の比較検討を行った。その結果、自動チャック方式による定着装置が目標時間内での作業を可能にすることが判明した。そこで、本施工の確実性を期すために、自動チャック方式の定着具を使用して、施工性確認試験を行った。その時、施工面での問題点を洗い出し、さらに作業員の熟練度を増すことで作業時間の短縮を図った。(写真-5参照)

また、試験体は図-8に示すように、ケーブル配置を異にする3つのウェブからなる実物大模型を製作し、ウェブⅠは、神戸側配置(4ケーブル)、ウェブⅡ、Ⅲは、名古屋側配置(6ケーブル)により永久アンカーを取り付ける。上・中・下段のケーブル間隔は設計間隔ではなく、最も厳しい実際の配置間隔とする。

(3) 時間工程計画

本工事の施工にあたっては、先述のように時間的に厳しい状況にある。また、本定着方式は前例がなく、さらに作業条件も悪い。そこで、実寸モデルでの施工実験を行い、作業性ならびに作業時間の確認を行った。当初計画予定時間と施工確認試験実施時間の対比を表-4に示す。

永久定着工の前後作業として、はつり作業、ケーブル

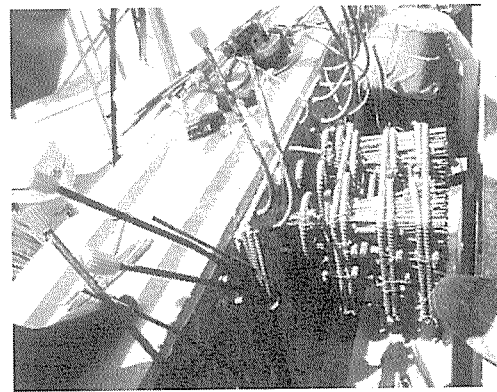


写真-5 模型試験状況

表-4 施工時間比較表

施工場所	当初計画予定時間	実測時間
P1側(4ケーブル/主桁)	160分	95分(225分)
P2側(6ケーブル/主桁)	240分	146分(226分)

注: ()内は鉄筋・型枠組立時間も加算した時間

清掃、鉄筋型枠組立等があるが、それらを考慮して、図-9のように時間工程を設定した。

3.3 試験総括

本工事の実験としては、大別して3種類の実験を行った。まず第一は、個別自動チャックのP C鋼材定着性能の確認のため、静的定着性能試験、動的定着性能試験を行い、両実験ともP C鋼材の破断、定着具の異常もなく良好な結果が得られた。

次に緊張材としての定着性能であるが、載荷荷重が設計荷重の最大値までではあったが、全供試体とも、自動チャックの有無に拘わらず、同様の挙動を示し、定着性能は確保された。ただし、P C鋼線分散定着部の根元に割裂応力が集中するので、その部分には補強筋を十分に配置する必要がある。

最後に、模型試験による施工時間の結果も、永久アンカー装置を個別自動チャックに変更にしたことにより、作業時間の短縮を図ることが可能となったことを示している。

以上の実験結果から、個別自動チャック方式の永久アンカー装置が、石山高架橋の施工条件に十分に適合していることが確認され、永久アンカーの施工を可能にした。去る平成8年11月に永久アンカーの施工は終了し、現在まで特に問題は発生しておらず、実橋においてもその性能が確認された。

4. あとがき

P C構造物の改善、補修(強)に伴うP C部材の切断、撤去の施工例は時折報告されているが、P C構造物

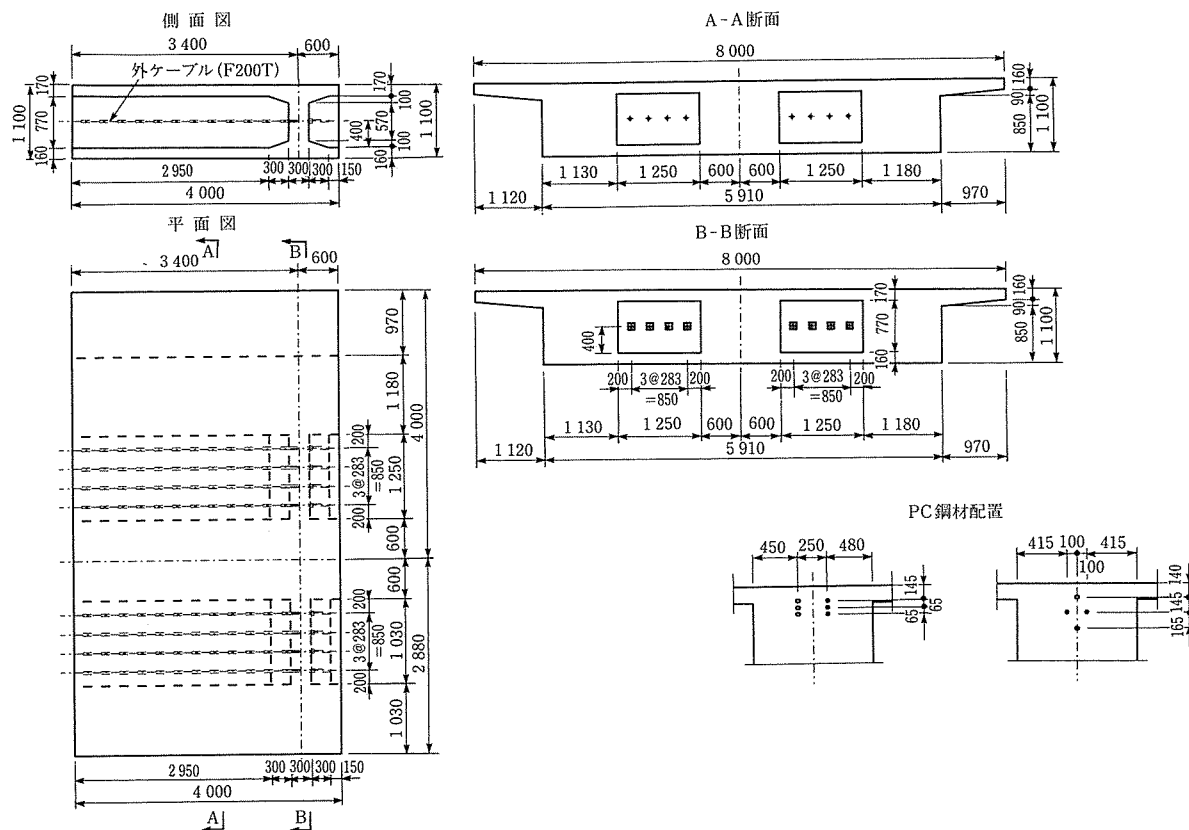


図-8 模型試験体概要図

(工事名) 名神高速道路 石山高架構改良工事 夜間作業工程表 (タイムスケジュール) 【第6~10日】 永久アンカー工							
	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	1:00	2:00
名神通行止め	[Shaded bar from 20:00 to 7:00]						
追上げ時間	30						
京阪起電停止				0:30		4:30	
仮設上屋・準備工	30						
人力はつり工		100					
永久アンカー設置工			170				
鉄筋・型枠工					120		
計測ゲージ取付						10	
ジェットコンクリート打設							40
一次養生							40
仮設ジョイント設置							60
仮設高欄復旧・上屋撤去							40
片付・退場							60

図-9 永久アンカー時間工程表

体中に埋設された供用中の緊張材を途中で切断し、構造系を変えてそのプレストレス力をそのまま使用するという手法はあまり例を見ない。

永久定着具はPC構造物の生命であるプレストレス材を途中切断しても、その導入されている力を以後、長期間維持しておくために考案された。また、制約のある作業性と併行して確実性の高い定着性能を得るために考案されたのが本定着方式である。本報告が類似工事の施工計画の検討に際し何かの参考になれば幸いである。

最後に本定着具の開発、試験に当たり、「名神高速道路橋梁老朽化対策委員会」（委員長：島田静雄埼玉大学教授）において、多数の学識経験者および専門技術者の方に貴重なご意見とご指導をことに賜ったことに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 横山好幸, 江口洋一, 菊池秀二, 長橋弘和; 「高速道路におけるゲルバー橋の架替え計画-名神高速道路石山高架構-」プレストレスコンクリートVol.37, No.6, Nov. 1995.

【1997年2月28日受付】