

(167) 横桁連結工法による既設PC桁連結化の設計・施工と挙動確認計測

阪神高速道路公団 大阪管理部 横山新一郎
 阪神高速道路公団 大阪管理部 豊嶋 昭年
 住友建設株式会社 大阪支店 上村 哲哉
 住友建設株式会社 大阪支店 正会員 ○山中 康司

1. はじめに

阪神高速道路公団では、橋長が25m程度を超えるPC桁のノージョイント化に対応する手法として「横桁連結工法」(桁遊間部を間詰めした上で端横桁間にPC鋼棒を配置、緊張することにより連結する工法)を取り上げ、その実用化に向けた研究と実験を行ってきた。

今回、当工法による実橋の連結化を試験施工として実施し、あわせて載荷試験による挙動確認計測を行った。ここでは、設計、施工した内容を紹介するとともに、計測により確認できた連結後の構造物の挙動を過去の供試体実験結果との比較を含めて報告する。

2. 工事概要 (図-1~4 参照)

路線名：大阪府道高速大阪堺線

(阪神高速道路15号堺線)

工事名：PC桁連結工事(10-1-堺)

工事場所：大阪市住之江区粉浜西3丁目付近

形式：ポストテンション方式T桁橋

(8連の単純桁部を4径間ずつの2橋に連結化)

支間長：(2@24.300m+2@22.300m) + (4@22.300m)

幅員構成：0.500m(壁高欄)+7.800m(車道)+1.000m(中央分離帯)
 +7.800m(車道)+1.000m(壁高欄)

活荷重：B活荷重(レーン載荷)

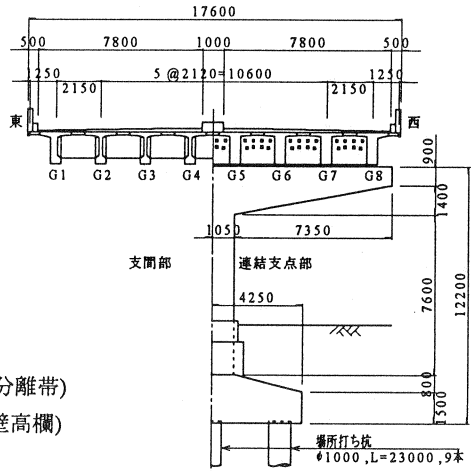


図-1 標準断面図

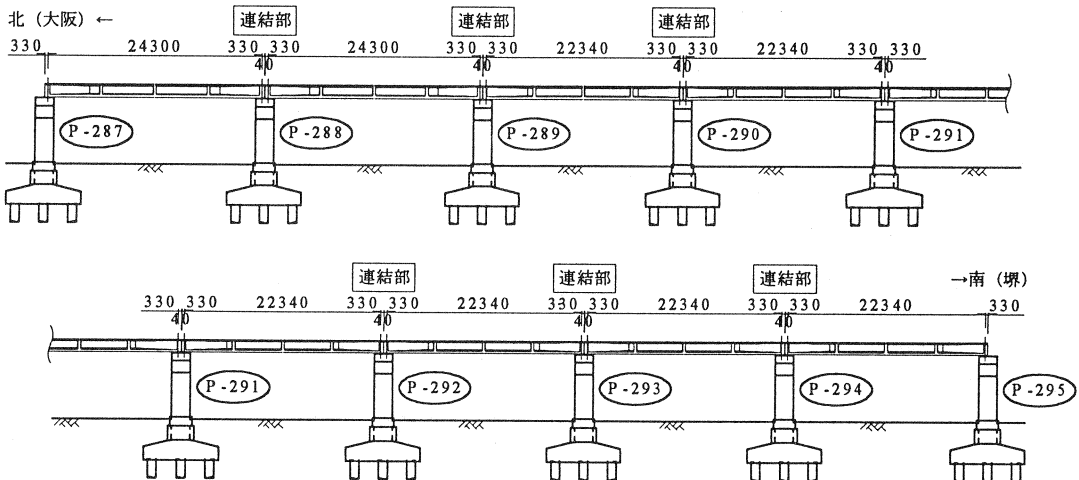


図-2 全体一般図

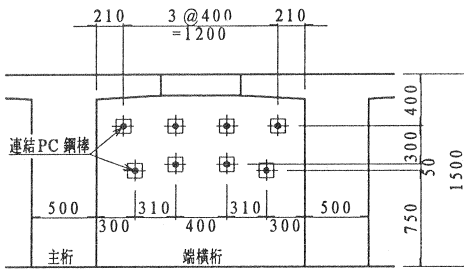


図-3 連結鋼棒配置図

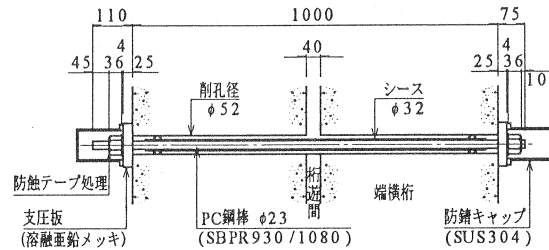


図-4 連結鋼棒設置詳細図

3. 設計方法

図-5に設計フローを示す。

3.1 復元設計

連結後の上部工は、活荷重による曲げモーメントに対して、単純桁と完全な連続桁の中間的な挙動を示すことが供試体実験により確認されていた¹⁾。この理由は、

- ・桁遊間間詰部の上縁側にひび割れの発生を認めていること
- ・主桁が直接連結されておらず、端横桁を介しての間接的な連結であることから主桁と端横桁の接触面で若干のたわみ角差が発生すること

である。しかし、支間中央部付近の正の曲げモーメントに対しては、単純桁状態にモデル化した上で設計すべきであると考え、復元設計としてB活荷重レーン載荷時の支間中央主桁応力度を照査した。

3.2 連結径間数の検討

連結径間数の検討を行うに際し、連結後の構造系を図-6に示すようにモデル化した。主な検討項目を以下に示す。

①主桁の応力度照査

温度変化時の主桁の伸縮が拘束されるため、温度降下時に活荷重が載荷された場合について、支間中央部下縁側の引張応力度を照査した。

②上下部接合部アンカーバーの応力度照査

温度変化時の主桁の伸縮により、橋脚天端には、固定支点側アンカーバーを介して水平反力が作用する。この時のアンカーバーのせん断応力度を照査した。

③橋脚の応力度照査

温度変化時の水平反力を考慮して橋脚柱に発生する応力度を照査した。

④橋脚の安定計算

温度変化時の水平反力を考慮した上で橋脚の安定計算を行った。

⑤連結桁端可動側支点部の照査

連結後も可動支点として機能する桁端部においては、移動量が大きくなることを踏まえて、支承、桁端遊間量およびアンカーバーの遊間量について照査した。

なお、橋脚規模に差がある場合などは、地震時に橋脚に作用する慣性力が連結前と大きく変わってくることがあるため、地震時における検討も重要となる。

今回は、同等規模の橋梁に対する事前の試設計結果において、5径間連結時に基礎杭の押込み力が許容値

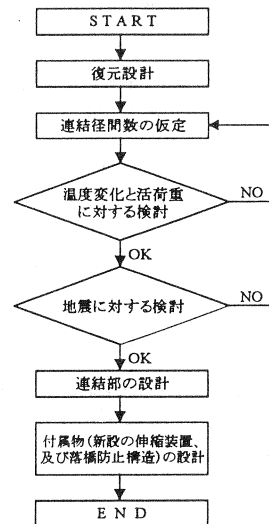


図-5 設計フロー

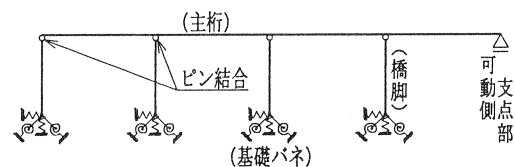


図-6 解析モデル

を上回ったため、連結径間数を4径間に決定した。

3.3 連結部の設計

①連結部近傍における主桁の負の曲げモーメントに対する検討

連結部近傍の主桁に作用する負の曲げモーメントの大きさは連結部の曲げ剛度の評価に左右される。今回は供試体実験の結果¹⁾を踏まえた上で、安全側の設計を行うために大きめの曲げ剛度(主桁の20%)を設定して負の曲げモーメントを算出し、主桁応力度を照査した(図-7、8参照)。

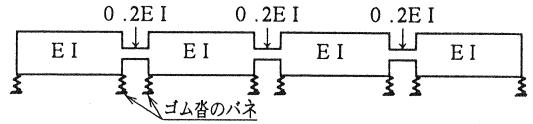


図-7 主桁負曲げ検討時の解析モデル模式図

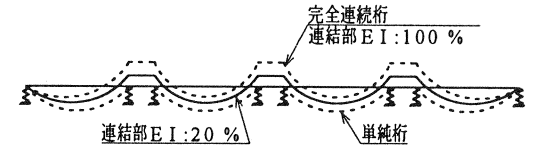


図-8 主桁曲げモーメント概念図

②連結PC鋼棒の設計

a) 有効緊張力 (Pe) の設定

最低温時における桁遊間間詰材の逸脱防止ために、最低温時に連結部に作用する引張力より大きめのプレストレス(有効時の面圧で2kgf/cm²相当)を与えることとした。→1本当りの有効緊張力 Pe=8.0tf

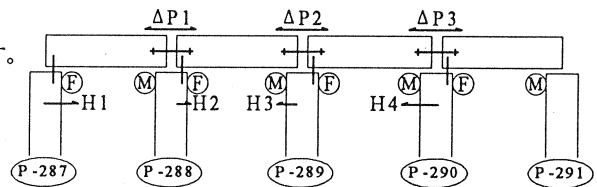
b) 温度低下による増加張力 (ΔP) の計算

温度低下時の力の伝わり方を図-9に示す。

→1本当りの最大増加張力 ΔP=1.3tf

c) 活荷重による増加張力 (ΔPL) の計算

活荷重載荷時には連結部をはさんでたわみ角差が発生するため、上縁側の連結鋼棒ほど大きな増加張力が作用する。この増加張力の評価に当たっては、活荷重載荷時に桁遊間間詰部に発生するひび割れ幅を考慮した。供試体実験の結果¹⁾より実橋レベルB活荷重フル載荷時には0.1mm程度のひび割れ発生が推定されていた。そこで、今回の設計では舗装への影響度合も考慮に入れた上で0.2mmのひび割れ発生を想定して連結鋼棒の設計を行った。この時の仮定条件としては以下の通りである(図-10参照)。



ΔP_i: 温度低下による連結鋼棒の増加張力
 H_i: 温度低下により橋脚天端に作用する水平反力

ΔP₁=H₁
 ΔP₂=H₂+H₃
 ΔP₃=H₄-H₃

図-9 温度低下時の挙動

- ・桁遊間目地部をはさんだ主桁ならびに端横桁は剛体として挙動する。つまり、桁下縁を支点とした回転により上縁部のひび割れ幅が0.2mmに至る。
- ・ひび割れにより、桁遊間目地部をはさんだ [L=目地幅+2φ (φ:連結鋼棒径)] の区間で連結鋼棒とグラウトの付着切れがおこる。つまり、連結鋼棒の長さLの部分ひび割れ分だけひずむ。→1本当りの最大増加張力 ΔPL=14.5tf

以上より、設計荷重作用時の連結PC鋼棒1本当りの引張力Pは、

$$P = Pe + \Delta P + \Delta PL = 8.0 + 1.3 + 14.5 = 23.8tf$$

となり、許容引張力 Pa (=27.4tf) を満足する。これからもわかるように、施工完了後の増加張力が大きいために、プレストレスング時の導入緊張力は、PC鋼棒の耐力に比べ非常に小さなものとなる。

③端横桁の照査

a) 曲げおよびせん断応力度の照査

温度降下時に連結PC鋼棒に作用する引張力は端横桁を介して隣接径間に伝わるため、端横桁を両端

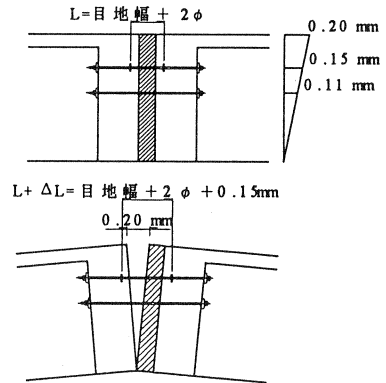


図-10 活荷重による増加張力

固定梁とみなした上で連結鋼棒からの荷重を載荷し、端横桁の曲げおよびせん断応力度の照査を行った。

b) 主桁との接触面におけるズレせん断耐力の照査

連結 PC 鋼棒およびアンカーバーから作用する荷重に対して、主桁と端横桁の接触面におけるズレせん断耐力を照査した。このズレせん断耐力としては、供試体実験の結果²⁾を踏まえ、横締プレストレスによる摩擦抵抗力に加え、付着ズレ抵抗力にも期待できるとして算定、照査した。

4. 施工方法

当工法は、本来、一般交通の供用下でも短期間の部分規制のみで施工できることが長所の一つであるが、今回の工事は、路線全体のリフレッシュ工事期間にあわせて施工したため、一般交通に対する規制は伴わなかった。ただし、舗装工事等、他工区の工事車両が多数行き交う中での施工となり、一般交通供用下と同様の部分規制を必要とした。他工区工事車両への通路確保のため、走行車線と追越車線で2日間に分けての施工となった。全工程の施工フローを図-11に、連結工部分の施工順序図を図-12に示す。フローに示す橋面作業については8日間のリフレッシュ工事期間中に完了させた。主な工種について以下に述べる。

4.1 横締鋼材配置探査、貫通孔削孔

貫通孔の削孔に先立ち、RC レーダー探査法により端横桁内の横締鋼材位置および前面側配筋位置を探査した。その後、探査結果に基づき、横締鋼材および配筋を避けた位置に、ダイヤモンドコンクリートコアマシンにてφ52の貫通孔を削孔した。

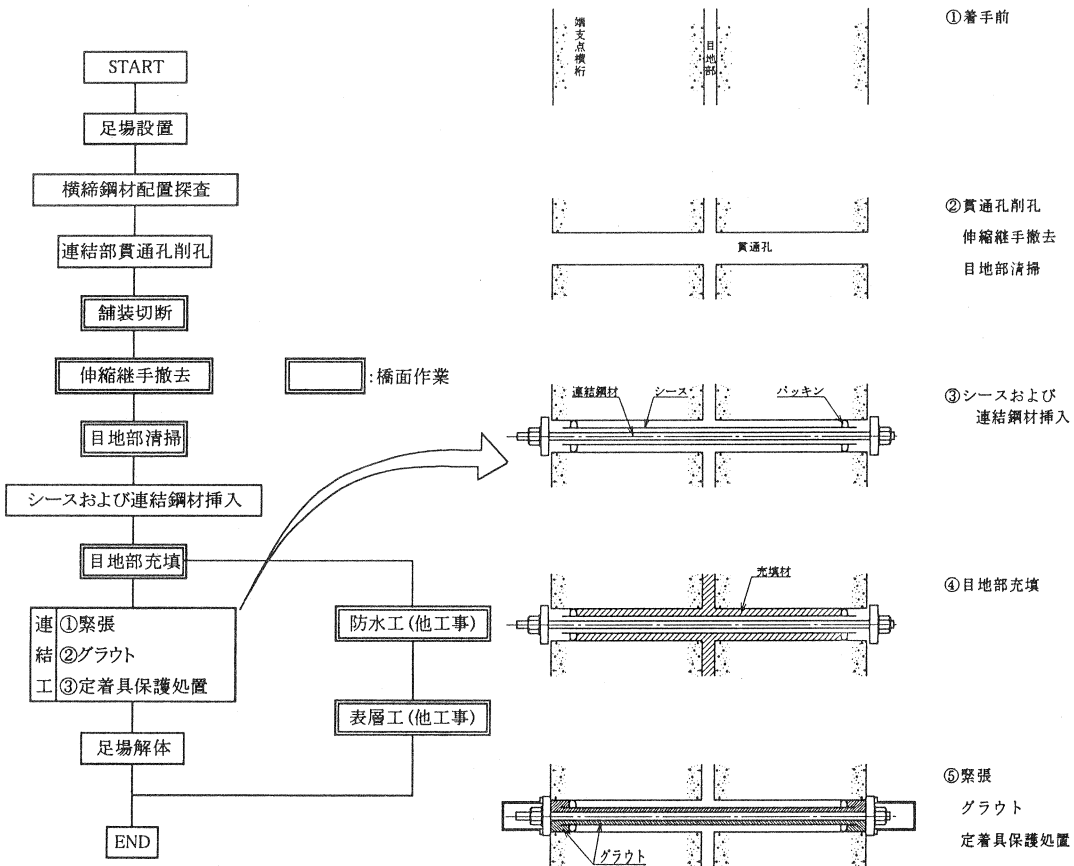


図-11 施工フロー

図-12 連結工施工順序図

4.2 目地部清掃(写真-1)

高架下が一般道であり水の使用が不可能であったことから、目地部の清掃はすべて人力作業となった。走行車線部施工時は耳桁側方より堆積物が除去できたが、追越車線施工時は橋面上へすくい上げるかたちでしか除去できずかなりの労力を要した。幸いにも堆積物が主に土砂と発泡スチロールであったことから人力作業のみで清掃することができた。

4.3 目地部充填(写真-2)

当工事では目地部の充填材として高流動化超速硬コンクリートを使用した。示方配合を表-1に示す。なお、コンクリートは、モービル車を現場に持ち込み、その場で練混ぜ打設した。

表-1 高流動化超速硬コンクリート示方配合

粗骨材の最大寸法(mm)	スランプフローの範囲(cm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量 (kg/m ³)						
				セメント	水	細骨材	粗骨材	減水剤	遅延剤	混和材
10	55±5	32.5	48.5	450	195	699	762	15	※	150

※天候、気温により対セメント比にして0.0~0.7%の範囲で調整



写真-1 目地部清掃状況



写真-2 目地部充填状況

4.4 連結鋼棒緊張

連結鋼棒の緊張に当たっては、緊張力が小さく鋼材長も短いことから伸びも小さくなることを考慮して、圧力計の読み値による管理を主とした。

5. 挙動確認計測

当工事では、橋梁の挙動が連結によりどのように変化するかを確認するため、総重量を約25tに調整した車両8台を使用して連結前後に静的荷重試験を行った。ここでは、連結部の負の曲げモーメントに対する挙動を確認するための荷重ケース(図-13)について、その計測結果を以下に述べる。なお、この荷重ケースがP288連結部に再現している負の曲げモーメントの大きさを、設計活荷重に対する比率として表-2に示す。

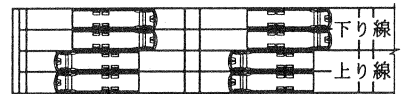


図-13 荷重車載荷方法

表-2 設計荷重再現比率(例:G3桁)

B活荷重の レーン 載荷 に対して	B活荷重の フル載荷 に対して	評価方法
0.652	0.524	桁端部の たわみ角

5.1 連結部上縁ひび割れ幅

荷重載荷により連結部上縁に発生したひび割れ幅の計測値は0.06mmであった。これはB活荷重のレーン載荷時換算で0.09mm、フル載荷時換算で0.11mmに相当し、設計時の0.2mmという設定および供試体実験結果¹⁾からの実橋レベルB活荷重フル載荷時0.1mmという推定値との整合が確認できた。

5.2 連結PC鋼棒増加張力

連結PC鋼棒に取り付けたひずみ計の計測値によると、荷重載荷により上段側の連結鋼棒には増加張力が発生したが下段側には圧縮力が作用していた。このことから、中立軸は上下段の連結鋼棒の間に存在し、その位置をひずみ発生比率から推定すると主桁上縁から700mm下がった位置と考えられた。

また、連結鋼棒1本当りの増加張力は最大でも0.2tfで、B活荷重レーン載荷時に換算しても0.3tfにしかない。設計で考慮した14.5tfに対しては2%にしか及ばないが、これはひび割れ幅が設計での想定よりも小さかった上に、実際には図-10に示したような挙動にはならず下縁側に800mm程度の圧縮領域が存在したからである。ただし、今回の載荷試験はグラウト施工前に行われており、ひび割れによる引張応力度増加は鋼棒全長にわたって均一に発生したと考えられる。グラウト施工後では連結鋼棒の間詰近傍部にひずみが集中し局部的に引張応力度が増加すると考えられ、この評価手法についてはさらなる検討が必要と考える。

5.3 連結部曲げ剛度

主桁のたわみについて計測値と解析値を比較することによって連結部の曲げ剛度を推定した。まず、連結前の単純桁状態での計測値から、支間部上部工の実際の曲げ剛性は、壁高欄、中央分離帯および舗装等の影響により理論値よりも大きいものと判断した。そこで、連結前計測値をもとに支間部の曲げ剛性を補正した上で連結後の解析値を算出した。その結果、連結部剛度を主桁の8%として見込んだ場合に、S-287中央部のたわみ量が計測値とほぼ一致した(図-14参照)。但し、8%とした場合でも、S-287支間中央では計測値と解析値が合致しているが、S-288では差異が生じている。この理由としては、P-289連結部では負担する負の曲げモーメントが小さいために発生するひび割れ深さも浅くなり、剛度があまり低下していないためと考えられる。

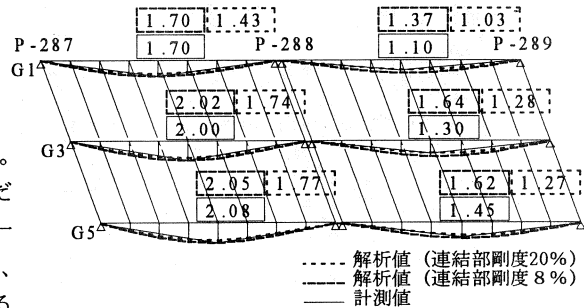


図-14 主桁鉛直変位図 (単位: mm)

5.4 温度変化にともなう挙動

温度変化時の挙動計測については平成11年1月に低温時の計測を行った。今夏に高温時の計測が行われる予定であり、これらを比較することで温度変化にともなう挙動が明確にされることと思われる。

6. おわりに

当工法には“①工事騒音が少なく、施工期間も短い”“②交通規制の期間や規模を小さくできる”“③既設構造物に対する改良規模は小さく、施工性、経済性に優れる”といった利点があり、実用化に至れば、特に都市内道路橋でその効果を発揮するものと期待される。今後は、連結部のひび割れ幅や連結鋼棒増加張力に対する評価方法を中心に、より合理的な設計手法の整備、確立が課題として残されている。なお、本書には、連結部疲労実験ならびに連結部FEM解析に関する2編の論文も掲載されており、あわせて参照されたい。

最後に、当工事を設計、施工するに当たり、多大なご指導、ご協力をいただいた阪神高速道路公団「コンクリート構造物の耐久性に関する調査研究委員会」の委員各位に紙面をお借りして深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 林, 川村, 寺口, 城代: 横桁連結工法を用いた既設PC桁の連結後挙動確認実験, 第8回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, No.124, pp.639-642, 平成10年10月
- 2) 林, 林田, 内田, 斉藤: 主桁と横桁の接触面のせん断耐力実験, 第8回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, No.57, pp.287-290, 平成10年10月