

(18) 菅原城北大橋・複合ヒンジ部の設計と施工

SUGAHARA-SHIROKITA OH-HASHI DESIGN AND CONSTRUCTION OF HYBRID STRUCTURAL HINGE

亀井 正博* 井下 泰具** 高田 寛*** 折口 清秀***

Masahiro KAMEI, Yasutomo INOSHITA, Hiroshi TAKADA, Kiyohide ORIGUCHI

The main bridge of Sugahara-Shirokita Oh-hashi complex is a cable stayed bridge whose side spans are supported by two prestressed concrete bridges located on each of the river banks. The connection between these two different types of bridge is achieved by means of a structural hinge, so that no axial force, but only shear forces are transmitted. Hereforth, this connection system shall be called "hybrid structural hinge". The hybrid structural hinge is a structure composed by a supporting steel beam, fixed at one of the edges of the prestressed concrete bridge by means of anchor bolts. This supporting beam is then inserted into the transverse end girder of the cable-stayed bridge. Resistance to bending moment of the supporting beam is achieved by introducing prestress to anchor bolts, and resistance to shear, by studs. This paper presents an explanation on the hybrid structural hinge and characteristics, as well as an evaluation of the design and construction methods.

まえがき

近年、わが国でも鋼とコンクリート部材などの異種の材料を積極的に組み合わせることによってそれぞれが持つ特徴を有効に活かしていこうとする気運が盛り上がっているようである。たとえば、主径間ではできるだけ自重を軽減するために鋼桁とし、側径間はアップリフトを防ぐためにコンクリート桁として両者を剛結したいわゆる複合斜張橋が現在建設中であり、また、鋼製橋脚内にコンクリートを充填して合成効果を期待するといったことが考えられており、今後ともますます複合もしくは混合構造物と呼ばれる構造形式が採用されていくものと思われる。

さて、菅原城北大橋は、淀川を越える位置では中央の鋼斜張橋とその両側のPCラーメン橋より構成されているが、自然環境の保全のために鋼斜張橋の端脚を設置することができないことから、それぞれの桁端の接合部分にヒンジを配置することによって全体で連続した構造としている。

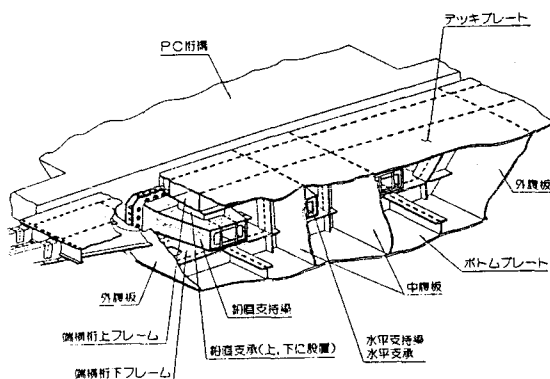


図-1 複合ヒンジ部の構造概要

* 大阪市建設局街路部立体交差課主査

** 大阪市建設局街路部立体交差課

*** 日立・松尾・三菱・横河JV

(現土木部橋梁課主査)

このように、鋼橋とコンクリート橋という異種の構造形式を連結するヒンジ構造であることから、以下では『複合ヒンジ』と呼ぶことにする。この複合ヒンジ部には斜張橋の端支点としての正負の鉛直力、水平力ならびにねじりモーメントを伝達し、しかも橋軸方向の移動および橋軸面内、面外の回転を自由にするという条件から、図-1に示すような構造を採用した。

まず、PCラーメン橋の端部に3本の鋼製支持梁をアンカーボルトで取り付ける。そして斜張橋主桁の端横桁の中にこの支持梁を差し込み、支持梁の上下に設けた支承を介して端横桁の上下フレームから主桁へと力を伝達させる。また、外側の2本の支持梁には鉛直力を、中央の支持梁には水平力を分担させることにし、抵抗機能を分離させた。

複合ヒンジ部全体の設計については文献1)に、また、斜張橋の架設の手順については文献2)に既に報告しているので、ここでは鋼製支持梁のPCラーメン橋端横桁への接合部の設計と施工について述べることにする。

1. 接合部の設計

図-2より本構造の力の伝達機構を示すと次のとおりである。

まず、鋼斜張橋の反力としての作用力は、支承を介して支持梁に伝達され、支持梁のせん断力としてベースプレートからテンプレートへと溶接を介して伝わる。さらにテンプレート背面に溶植したスタッドジベルからPCラーメン橋端部に伝達されることになる。施工上、テンプレートの背面のコンクリートは後打ちとなるため、打ち継目におけるせん断力はせん断補強筋によって伝達される。

また、支持梁に作用する鉛直力によって支持梁の基部には曲げモーメントが発生し、活荷重反力の変動に伴って曲げ疲労が生じるので、それを抑えるためにアンカーボルトにはプレストレスを導入している。

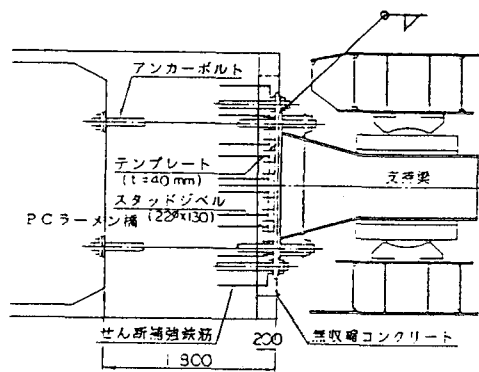


図-2 支持梁接合部

1-1. 接合部の特徴と問題点

図-2に示す構造を採用するにあたり、合成構造としての問題点について検討を加えた。考えられる特徴と問題点について列記すれば以下になる。

(1) 鋼製支持梁とコンクリートとの間には、接合部が一体として挙動するためのプレストレスが導入されている。このことはスタッドジベルの引き抜き力に対しては安全側になる。

(2) スタッドジベルを溶植するテンプレートの鋼板の厚さは、プレストレス力を支持梁基部からスムーズにコンクリート支圧面に均等に支圧応力として伝達させるため、また、多数のスタッドジベルが溶植されること、さらにベースプレートの周囲の溶接による鋼板の歪を防止するために、40mmとできるだけ厚くしている。そこで通常スタッドジベルが溶植される板厚に比べて極厚となっている。

(3) スタッドジベルが水平に溶植され、コンクリートが上方から打ち込まれる施工となる。かつ、コンクリートの打設面積が非常に広がっている。

(4) 複合ヒンジ部では伸縮装置を設けるため、走行車両によって衝撃力が生じる。そのため接合部の後埋めコンクリートには特に耐衝撃性の良い材料の選定を行う必要がある。

(5) 上記の反力は正・負の鉛直力となるため、スタッドジベルの疲労について、既往の研究を基に照査する必要がある。

(6) プレストレスを導入したことにより、鋼板とコンクリートとの間には摩擦力が実際に期待できる。摩擦耐力を設計に見込んだ実施例は少ないが、どの程度の抵抗力があるか別途評価を行っておく必要がある。

1-2. スタッドジベルの設計

スタッドジベルの押し抜き挙動に与える種々の要因について、既往の研究から得られている知見をもとに、スタッドジベルの静的および疲労強度について検討を加えた。

(1) 文献3)によれば、プレストレス力によるコンクリートの拘束力はスタッドジベルの静的破壊荷重を15%程度向上させ、また、疲労強度は200万回の繰返し回数に対して25%程度向上させるとされている。

(2) スタッドジベルを溶植する鋼板の板厚は極厚であるため、スタッドジベル根元の回転拘束は大きい。上記の文献によれば破壊荷重については、板厚の増加に伴い低下している。板厚15mmに対して15%程度低下するものと考えられる。また、疲労強度についても、20%程度低下するものと考えられる。

(3) スタッドジベルが水平に溶植され、コンクリートが上方より打ち込まれる接合部では、スタッドジベルの下側にブリージングによる空隙を生じる恐れがある。この欠陥はずれを基準にした限界荷重を低下させることになる。文献4)によれば、せん断力が極めて小さいレベルでずれが生じるとされている。

以上のことから、プレストレス力が押し抜き強度の改善に寄与できる点を勘案してスタッドジベルの押し抜きせん断耐力の設計値は道示の規定に従っても問題ないものと判断した。ただし、コンクリートの打ち込み方向の影響については、実際の施工方法と同じ条件で、後埋めコンクリート(砕石混入無収縮モルタル)の打設施工試験を行って、充填性の良否、ブリージングの欠陥の発生のないことを確認しておくことにした。

また、PCラーメン橋との打ち継ぎ目の処理については、打ち継ぎ目のコンクリート面をチップングし、コンクリート打設前に水洗いを施して十分な付着が確保できるよう留意した。

1-3. プレストレスによる摩擦力

各支持梁はアンカーボルトで固定されているが、そのアンカーボルトにプレストレス(有効プレストレス135t/1本当り)を導入して曲げ疲労耐力を高めている。

このプレストレス力は、活荷重反力が最大となる状態で支持梁の基部に発生する曲げモーメントに対して接触面の応力分布を求め、その時の最大引張応力を打ち消すために必要な軸力とし、そのプレストレス力を全てのアンカーボルトに導入するものと考えた。

従って鉛直支持梁1本につき、2970t(=135t/本×22本)の有効プレストレスが導入されていることになる。これは、鋼とコンクリートの間に摩擦力を生じさせることにつながり、作用せん断力に対する抵抗機能の1つと考えられる。

ここで、鋼とコンクリートの間の摩擦係数をいくらに設定するかが問題となるが、文献5)によれば、試験結果から $\mu=0.4$ としておけば十分安全であると記されている。

そこで $\mu=0.4$ とし、全プレストレスの $1/2$ が摩擦に寄与すると仮定すれば摩擦力は、

$$R' = \frac{1}{2} \times 2970 \times 0.4 = 594 \text{ t} > R_{\max} = 568 \text{ t}$$

となり、最大作用力を上回ることになる。しかしながら今回は、余裕代として設計計算には考慮しないものとした。

なお、橋軸方向にプレストレスを導入することによりPCラーメン橋の端横桁には橋軸直角方向に引張が生じるが、これに対しては通常の縦締め鋼棒のほかに40本の補強用PC鋼棒で水平方向に締め付けた。

1-4: せん断補強筋の設計

せん断補強筋は、支持梁から伝達されるせん断力がスタッドジベルを介してコンクリートに流れ、コンクリートで抵抗できないせん断力に対して、補強のために配置する鉄筋である。本橋の場合、特にPCラーメン橋の端横桁本体と後埋めコンクリートの間のせん断力の伝達を行うという重要な役割も有している。

設計上必要な鉄筋本数については次式により求めた。

$$A_s = \frac{R - A_c \cdot \tau_{ca}}{\tau_{sa}}$$

ここに、 A_s : せん断補強筋の必要鉄筋量

R : 最大作用力

A_c : コンクリートの抵抗面積 (テンプレートの面積)

τ_{ca} : コンクリートの許容せん断応力度

τ_{sa} : 鉄筋の許容せん断応力度

計算の結果は、D19鉄筋が

107本必要であるのに対して、

実際には図-3に示すように、

140本配置した。

2. 接合部の施工

2-1. 後埋めコンクリートの材料

前述したように、後埋めコンクリートの性能としては充填性が良く、無収縮性に富み、高強度と共に本構造の特徴としては特に耐衝撃性の良い材料が要求される。文献6)ではプレミックスタイプの無収縮モルタルおよびエポキシ樹脂系モルタルの

2種類について報告されているが、無収縮モルタルを用いた場合でもスタッドジベルの限界荷重は道示の値近くになっており、スタッドジベル自体の許容耐力については問題がないものと思われたので、表-1に示すような性能を有する無収縮モルタルを採用した。

また、無収縮モルタルに粗骨材を混入すると、①衝撃強度が向上する、②モルタル量が少なくなり、乾燥収縮による体積変化が小さくなる、③圧縮、曲げ、引張強度が増す、④経済性が良くなる、などのメリットが得られるので、粗骨材の混入量について、実際に施工試験を行い最適な量を決定した。

スタッドジベルの押し抜き強度は、テンプレート背面の充填コンクリートの施工精度やコンクリ

ートの品質に左右されるため、施工管理については相当な厳しさが要求される。そのため、実際の施工に先立って、同じ施工条件下で実物大の供試体を用いて打設施工試験を行い、コンクリートの打ち上がり速度や締め固め方法の妥当性を確認し、また、硬化後に供試体を切断して欠陥の発生がないことを確認しておいた。

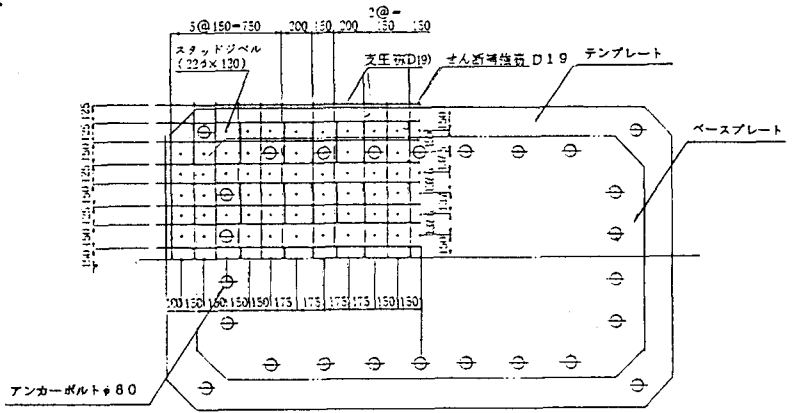


図-3 せん断補強筋の配置

表-1 無収縮モルタルの性能

試験項目	W/C (%)	コンシス テンシー (秒)	ブリージ ング率 (%)	モルタル体収縮率(%)		
				1日	3日	7日
試験成績	35.0	7.9	0.0	-0.16	-0.18	-0.19

2-2. 後埋めコンクリートの施工

テンプレートの据え付け・調整が完了した後テンプレート背面にコンクリートを注入した。橋面に設置したモルタルミキサーにより、1回当たりプレミックス無収縮モルタル5袋(125kg)、水約23.0ℓ、骨材(15mmアンダー)62.5kgを十分に練り混ぜ、攪拌し速やかにホッパー、サニーホースを介して打設した。

なお、打設に先立ち骨材投入前のモルタルを用いてコンシステンシーを確認し水量を決定した。

1回の練り混ぜによるコンクリートの練り上がり量は約88ℓであり、7～8分サイクルで練り混ぜ、打設を行った。一区画のグラウトの打設量は1.27m³で、打設の速さは高さ方向に2～3cm/minで連続的にいき、約2時間の打設時間を要した。脱型後、表面の仕上がり状況を観察したが、気泡も見られず十分良好であった。

また、極めて流動性が良いため、骨材の沈下、ばらつきを防ぐ目的で、図に示すように、ホッパーの位置を盛り替えて、骨材ができるだけ均等化するように配慮した。

打設時の締め固めは、バイブレーターを用いず木の棒で上方から突き固めた。これはバイブレーターの振動に起因して材料の分離が懸念されたためである。

現場にて採取したテストピースによる圧縮強度試験結果は左岸側で $\sigma_{3day} = 394 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{7day} = 482 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{28} = 583 \text{ kg/cm}^2$ となり、右岸側もこれ以上の強度が得られ、十分に満足のいく品質が確保できた。

図-4に打設要領図を、写真-1に打設状況を示す。

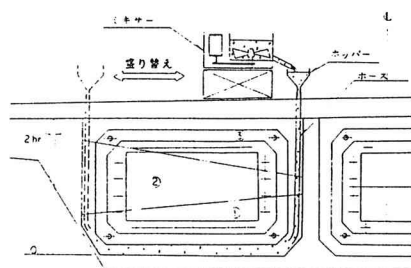


図-4 後埋めコンクリートの打設要領

あとがき

本橋は、斜張橋の端部に橋脚が設けられず、隣接するPCラーメン橋との接合部にヒンジを配置するという非常に珍しい形式となっており、本文ではこの複合ヒンジ部の、特に、支持梁とPCラーメン橋端横桁との接合部の設計と施工について報告した。近年、鋼とコンクリートとを複合させてその両者の特色を活かそうとする構造形式が種々考えられている。さらに、斜張橋において側径間にヒンジを配置して軸力の軽減を図る形式が提案されているが、本報告がこれらの検討の一助になれば幸いである。

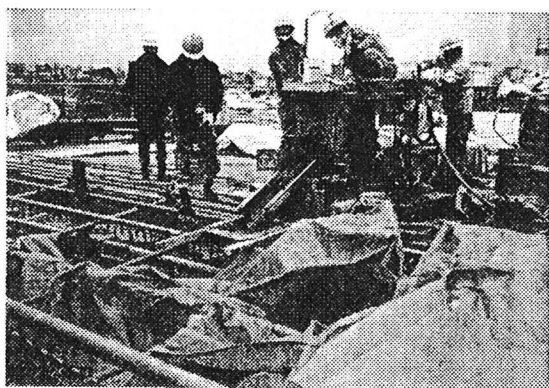


写真-1 後埋めコンクリートの打設状況

参考文献

- 1) 藤沢政夫・亀井正博・井下泰具：菅原城北大橋・橋端ヒンジ部の設計，橋梁と基礎，23巻5号，PP. 2～7，1989. 5

PP. 2~7, 1989. 5

2) 石岡英男・亀井正博・井下泰具：菅原城北大橋主橋梁部の架設時精度管理，橋梁と基礎，23巻7号，PP. 27~33, 1989. 7

3) 平城・栗田・赤尾：スタッドの押し抜き挙動に及ぼす影響因子に関する基礎的研究，合成構造の活用に関するシンポジウム，1986，土木学会

4) 赤尾・栗田・平城：頭付きスタッドの押し抜き挙動に及ぼすコンクリートの打ち込み方向の影響，土木学会論文集，第380号/I-7，PP. 311-320, 1987

5) 阿部英彦：鉄道用合成桁のずれ止めに関する実験的研究，鉄道技術研究所，961, 1975

6) 竹中裕文：プレキャスト床版合成桁におけるスタッドの挙動，合成構造の活用に関するシンポジウム，1986，土木学会