

(16) プレキャスト床版合成桁におけるスタッドの挙動

(株) 春本鐵工所 竹中裕文

1. まえがき

プレキャストコンクリート床版を用いる橋梁において、プレキャストコンクリート床版と鋼桁との結合方法としてはハイテンションボルトを用いる方法^{1)~2)}、バネ部材を用いて弾性締結する方法³⁾およびスタッドを用いる方法^{4)~5)}等がある。

これらのうち合成桁橋では、プレキャストコンクリート床版に鋼桁と結合するためのスタッド用の孔をあらかじめあけておき、その孔に早強性のセメントモルタル等で後埋めする方法がしばしば採用されているが、高強度のセメントモルタル、あるいは、その他の高強度の充填材料を用いた場合のスタッドの限界荷重および破壊強度については、詳しくは調べられていない。

本文は、プレキャストコンクリートブロックを前述の高強度のセメントあるいはエポキシ樹脂系モルタル等の充填材料を用いて鋼桁と結合する場合を対象とした押抜き試験を行なって、プレキャストコンクリートブロックと鋼柱との相対残留ずれに基づく限界荷重および破壊荷重を、主として(1)スタッドの降伏強度、(2)後埋めモルタルの圧縮強度および弾性係数の要因に着目して、プレキャスト床版合成桁におけるスタッドの挙動を調べるものである。

2. スタッドによるプレキャストコンクリート板と鋼桁との結合法の概要

図-1には、プレキャストコンクリート板と鋼桁との合成法の概略図を示す。すなわち、橋梁の幅員がせまい場合には、図-1に示すような合成法が、また幅員が広い場合には、主桁上にプレキャストコンクリート板の継目設けて、同図-1(b)に示すような合成法が考えられる。

また、文献⁶⁾に示されている施工例では、図-2(a)に示すような構造が採用されている。すなわち、鋼桁上フランジ上面の両側にはハンチプレートが溶接されており、上フランジ上面とプレキャストコンクリート床版下面との間に鋼桁方向の連続したセメントモルタルの層が形成されるようになっている。また、スタッドとしては直径19mm、PCスラブ高さ12cmの異形スタッドが用いられている。

一方、橋梁の幅員が広い場合については、同図-2(b)に例示するような合成法が考えられる。

今回、上述の2種類の合成法を対象として押抜き実験を行った。

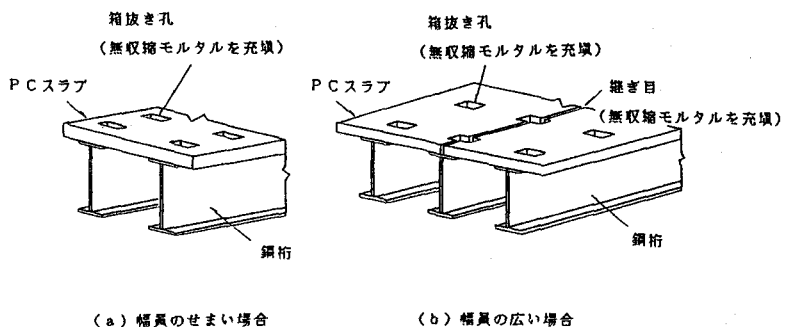
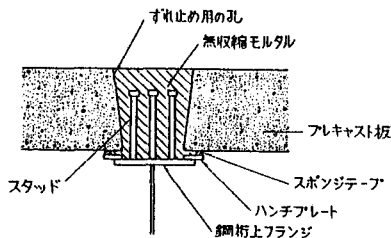
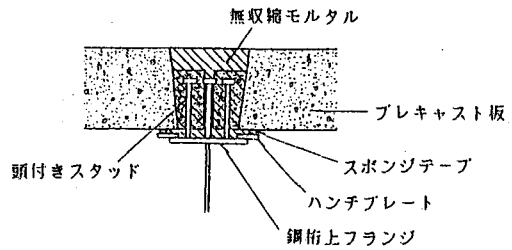


図-1 プレキャストコンクリート床版と鋼桁との合成法



(a) 鋼桁上に継目のない場合の例



(b) 鋼桁上に継目のある場合の例

図-2 プレキャストコンクリート床版と鋼桁との結合部の構造詳細

表-1 供試体の種類

タイプ	鋼桁上の 継目の有無	ジベルの種類	後埋めモルタルの 種類
TYPE-1	無	頭付きスタッド	無収縮モルタル
TYPE-2	有	頭付きスタッド	無収縮モルタル
TYPE-3	無	異形スタッド	無収縮モルタル
TYPE-4	有	異形スタッド	無収縮モルタル
TYPE-5	無	異形スタッド	エポキシモルタル
TYPE-6	有	異形スタッド	エポキシモルタル

3. 実験概要

3.1 供試体の種類と形状・寸法

表-1 には、押抜き供試体の種類を示す。スタッドとしては頭付きのもの、異形のもの2種類とし、また鋼桁上にプレキャストコンクリートブロック相互の継目のあるものと無いものの合計4種類とした。また後埋めモルタルとして高強度のエポキシモルタルを用いたものも2タイプ製作した。

図-3 には、BS5400 Part 5⁷⁾~⁸⁾等を参照にした押抜き供試体の形状・寸法を示す。鋼柱としては、H形鋼244x175x7x11を用いた。後埋めモルタル等の打ち込み方向については文献9)を参照にして上方から行えるように、また左右の後埋めモルタル等の圧縮強度や弾性係数が等しくなるように、鋼柱を半分だけ切断して左右のコンクリートブロックのずれ止め用の孔に後埋めモルタルを同時に打設した。その後、ハイテンションボルトおよびスプライスプレートをを用いて2つのブロックを一体化して押抜き供試体を完成した。

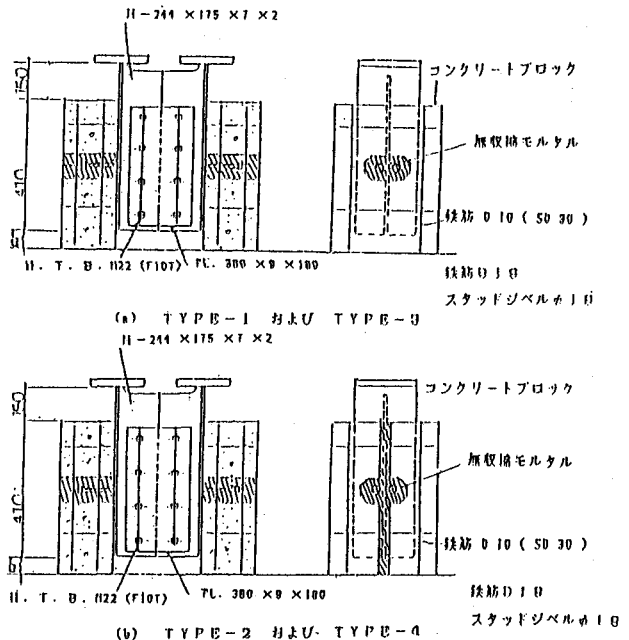


図-3 押抜き供試体の形状・寸法

3.2 使用材料

(A) スタッド

表-2には、スタッドの降伏応力度および引張強度を示す。異形スタッドそのものの降伏応力度は頭付きスタッドのそれよりもかなり小さく、75%程度であった。

スタッドの直径および高さは、両者ともすべてD-19mm×10cmとした。

(B) プレキャストコンクリートブロック

プレキャストコンクリートブロックは、仕上り精度をよくするため鋼製の型枠を使用した。またコンクリートの設計基準強度は、 $\sigma_{ck}=400\text{kg/cm}^2$ とした。

表-3には、これらのコンクリートの圧縮強度および弾性係数を示す。

(C) 後埋めモルタル

後埋めモルタルとしては、プレミックスタイプの無収縮、および、エポキシ樹脂系モルタルの2種類を使用した。

表-4には、これらの後埋めモルタルの圧縮強度および弾性係数を示す。

今回使用したエポキシ樹脂系モルタルは、エポキシ樹脂、および、けい砂等を主材料とするもので、気温15℃において打設後1日で 600kgf/cm^2 以上の圧縮強度が得られるものである。

異形スタッドを用いた押抜き供試体については、この材料をプレキャストコンクリートブロックに前もってあけておいたスタッド用の孔に打設して製作し、セメントモルタルよりも高強度の後埋め材料を用いた場合のスタッドの挙動を調べた。

表-4に示すように、この充填材料の押抜き試験時の圧縮強度は 800kgf/cm^2 でセメントモルタルの1.7～1.8倍でかなり大きい。

3.3 実験方法

供試体を試験機にセットし、残留ずれ0.08mmに対応する有効荷重、破壊荷重および破壊パターンを調べた。またプレキャストコンクリートブロックと鋼柱との相対ずれは、ストレインゲージ型の変位形で計測した。

4. 実験結果とその考察

4.1 限界荷重

図-4および5には、低荷重状態における荷重-ずれ曲線の一例を示す。これらの図から、残留ずれが0.08mmに相当する各供試体の限界荷重 Q_U^* を求めたものを表-5に示す。

同表中には実験値を評価するため、わが国の道路橋示方書およびECCSの指針による限界荷重 Q_U も計算値も示した。すなわち、これらは以下の諸式で計算したものである。

表-2 スタッドの降伏応力度および引張強度

種類	径 (mm)	降伏応力度 (kgf/mm^2)	引張強度 (kgf/mm^2)
頭付き スタッド	19	39.3	46.3
異形 スタッド	19	30.4	44.6

表-3 コンクリートの圧縮強度および弾性係数

供試体の タイプ	圧縮強度 (kgf/cm^2)	弾性係数 (kgf/cm^2)
TYPE1,3,5	471	3.4×10^5
TYPE2,4,6	470	3.4×10^5

表-4 後埋めモルタルの圧縮強度および弾性係数

供試体の タイプ	圧縮強度 (kgf/cm^2)	弾性係数 (kgf/cm^2)
TYPE1,2	478	2.2×10^5
TYPE3,4	436	1.8×10^5
TYPE5,6	797	0.3×10^5

1) わが国の道路橋示方書

$$Q_u = 87.5d^2 \sqrt{\sigma_{ck}}, \quad H/d > 5.5 \quad \dots\dots (1)$$

$$= 16dl \sqrt{\sigma_{ck}}, \quad H/d < 5.5$$

ここに、

d : スタッドの直径

H : スタッドの高さ

σ_{ck} : コンクリートの強度

2) E C C S の指針 (頭付きスタッド)¹⁰⁾

$h/d > 4.2$ のとき ;

$$Q_u = \frac{0.36d^2 \sqrt{f_{ck}} E_c}{r_{mc}} \leq \frac{0.7\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 f_y}{r_{ms}} \quad \dots\dots (2)$$

$h/d < 3.0$ のとき ;

$$Q_u = \frac{0.28d^2 \sqrt{f_{ck}} E_c}{r_{mc}} \leq \frac{0.7\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 f_y}{r_{ms}} \quad \dots\dots (3)$$

ここに、

d : スタッドの直径

h : スタッドの高さ

f_{ck} : コンクリート円筒標準供試体の
設計基準強度

E_c : コンクリートのヤング係数

f_y : スタッド材の降伏点

$r_{mc} = 1.3$ 終局限界状態 } コンクリート強度に
= 1.0 使用限界状態 } 関する部分安全係数

$r_{ms} = 1.0$ 終局限界状態 } スタッド強度に
= 1.0 使用限界状態 } 関する部分安全係数

表-5より、無収縮モルタルを用いた場合のスタッドの限界荷重は、道路橋示方書やE C C Sの基準に近い値となったが、圧縮強度 800kg/cm^2 のエボキシモルタルを用いた場合は道路橋示方書の値に近く、E C C Sの基準とは差異がみられた。なお、後者の場合の限界荷重は前者の場合のそれよりも15~40%程度大きくなる結果が得られた。

ところで、図-6には、供試体が破壊に至るまでの荷重-ずれ曲線を示す。この図から無収縮モルタルを使用した供試体では、頭付きスタッドを用いたものと異形スタッドを用いたものとで、ずれに著しい差異がみられる。すなわち、荷重が20tf以上になると、異形スタッドを用いたものは頭付きスタッドを用いたものの約2倍のずれが生じている。この理由として、異

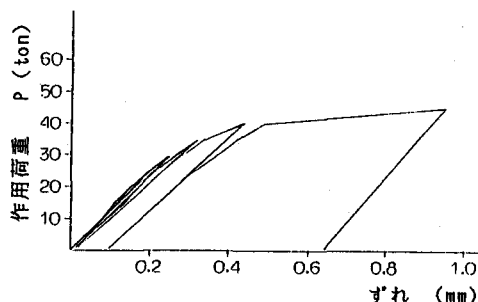


図-4 荷重-ずれ曲線の一例 (TYPE 5)

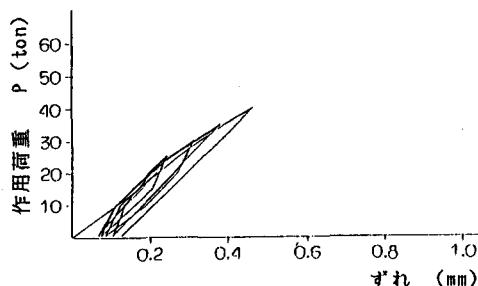


図-5 荷重-ずれ曲線の一例 (TYPE 6)

表-5 限界荷重の実験値と計算値 (tf/本)

供試体の タイプ	実験値 Q u *	計算値 Q u	
		道路橋 示方書	E C C S の基準
TYPE-1	7.1	6.9	7.8
TYPE-2	7.8	6.9	7.8
TYPE-3	6.5	6.6	6.0
TYPE-4	6.4	6.6	6.0
TYPE-5	9.2	8.9	6.0
TYPE-6	8.8	8.9	6.0

形スタッドそのものの降伏点が頭付きスタッドのそれよりも小さく、75%程度であったことから、スタッドの材質の降伏強度が荷重とずれとの関係に因与するのではないと思われる。ちなみに、ヨーロッパ統一基準(ECCS)では、コンクリート強度がある程度以上あれば、式(2)～(3)に見られるように、スタッドの強度によって限界荷重の上限値が設定されている。一方、エポキシ樹脂系モルタルの場合は、異形スタッドを用いているにもかかわらず無収縮モルタルの場合よりもずれ量が小さくなる結果がえられた。このように、プレキャスト床版に箱抜き穴を設けておき、そこに高強度の後埋めモルタルを注入して鋼桁と合成する工法をとる場合、ECCSの指針に見られるように、a)後埋めモルタル強度 f_{ck} 、b)ヤング率 E_c 、および、c)スタッド材の降伏強度等が複雑に関係するため、これらの諸点をさらに実験によって詳しく調べる必要があろう。

最後に、表-6には各供試体の静的破壊強度および破壊パターンが示されている。鋼桁上に継目の無い供試体の破壊荷重は道路橋示方書による許容荷重の約6.5～7.0倍に至ってスタッドが破壊している。しかしながら、鋼桁上に継目を設けた供試体のうち無収縮モルタルを用いたものでは、コンクリートブロックとセメントモルタルとの打継ぎ目が先に破壊しており、最終的な破壊荷重も小さく、この継目の構造や後埋め材料等についてさらに検討する必要がある。エポキシ樹脂系モルタルを用いた場合は、打継ぎ目で破壊することなくスタッドが破断した。

5. あとがき

プレキャストコンクリート床版を用いた合成桁を対象とした押抜き実験から以下のような結論が得られた。

- 1) 無収縮モルタルを用いてプレキャスト床版と鋼桁とを結合した押抜き供試体におけるスタッドの限界荷重は、わが国の道路橋示方書やECCSの指針に近い値となった。
- 2) 一方、エポキシ樹脂系モルタルを用いた場合は、無収縮モルタルを用いた場合よりも15～40%程度限界荷重が大きく道路橋示方書に近い値となった。
- 3) したがって、後埋めモルタルの種類やそれらの弾性係数、圧縮強度およびスタッドの降伏強度等の影響について、今後、詳しく検討する必要がある。
- 4) プレキャスト床版を鋼桁上で継ぐ際の後埋めモルタルの種類および箱抜きの形状・寸法についても再考する必要がある。
- 5) エポキシ樹脂系モルタルを使用した場合は、プレキャストコンクリート部との接着性もよいので、今後さらにこの材料の特性を詳しく調べる予定である。

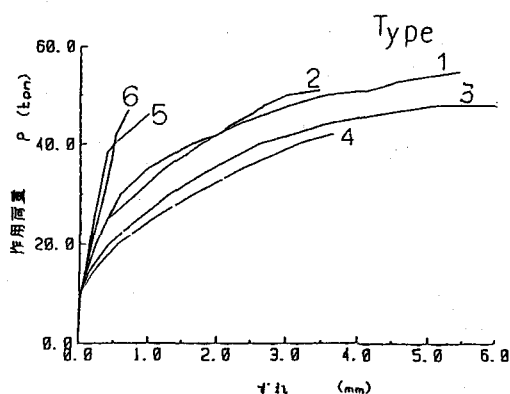


図-6 荷重-ずれ曲線 (TYPE 1～6)

表-6 静的破壊荷重

タイプ	静的破壊荷重 (tf)	破壊 パターン
TYPE-1	58.4	スタッド破壊
TYPE-2	51.4	コンクリート破壊
TYPE-3	59.0	スタッド破壊
TYPE-4	42.4	コンクリート破壊
TYPE-5	64.2	スタッド破壊
TYPE-6	56.8	スタッド破壊

なお、エポキシ樹脂系モルタルの使用に際し、リグナイト（株）研究部および広栄化学工業（株）研究所の御協力を得たことに感謝します。

参 考 文 献

- 1) Dörnen, K. und Meyer, A.: Die Emsbrücke Hembergen in dübellosem Stahlverbund, DER STAHLBAU Heft 7, Juli 1960, S. 199 ~ 206
- 2) Krosse, H.: Hochstraßenkonstruktion in Fertigteil-Verbundbauweise, DER BAUINGENIEUR, Heft 7, Juli 1961, S. 237 ~ 240
- 3) 南 隆・沼沢義広・木田光良・恩田真人・高松満: 茶志別橋の床版打換え工事, 橋梁と基礎, vol. 18, No. 5, 1984. 5, pp. 37 ~ 44
- 4) 中井博・鈴木宏昌・竹中裕文: プレキャスト床版を用いた合成桁のジベルの挙動, 昭和60年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, 昭和60年 5月, 1-49.
- 5) 土木学会関西支部共同研究グループ: プレキャスト床版を用いた合成桁橋の耐荷性と実用化に関する研究, 報告書(1), 昭和60年6月
- 6) 土木学会関西支部共同研究グループ: プレキャスト床版を用いた合成桁橋の耐荷性と実用化に関する研究, 報告書(2), 昭和61年6月
- 7) Stahlbau Handbuch, Für Studium und Praxis. band 1, in zwei Bänden, Stahlbau-Verlags-GmbH, Köln, 1982
- 8) British Standard Institution: BS 5400, part 5. code of practice for design composite bridges, 1979.
- 9) Maeda, Y., Matsui, S. and Hiragi, H.: Effects of Concrete-Placing Direction on Static and Fatigue Strengths of Stud Shear Connectors, Technology Reports of The Osaka University, Vol. 33, No. 1733, October 1983, pp. 397 ~ 406.
- 10) ECCS: Composite Structures, The Construction Press, 1981.