

報告

[2137] 山形鋼と頭付きスタッドによる合成構造シアコネクターの耐荷力に関する実験的研究

正会員○山田昌郎（運輸省港湾技術研究所）

正会員 清宮 理（運輸省港湾技術研究所）

1. はじめに

合成構造では、鋼板とコンクリートとをシアコネクターで合成する。この際スタッドが一般的に使用されている。一方、施工時の変形を抑えるため、鋼板に形鋼を溶接して剛度を上げる。この形鋼にもシアコネクターとしての機能が期待できる。しかし形鋼とスタッドの両者をシアコネクターとして使用し施工した実績はない。これは、両者の剛性や耐荷力、変形性能が異なることから、設計法が整備されていないことによる。そこで、両者を混用したときの課題を整理し、適切な構造細目を設定するための基礎資料を得ることを目的として、押し抜き試験を実施した。

2. 実験方法

2. 1 供試体の構造

9体の供試体を製作した。供試体の構造は、H形鋼の両側にコンクリートブロックを結合したものである。コンクリートブロック中には補強筋を配置していない。図-1に供試体T-1の構造を示す。この供試体では、シアコネクターとして、頭付きスタッドと山形鋼をH形鋼に溶接した。全供試体についてシアコネクターの配置を図-2に示す。T-1～T-6においては、シアコネクターの間隔と配置を変化させた。T-7、T-8は形鋼のみ、T-9はスタッドのみをシアコネクターとして使用した。

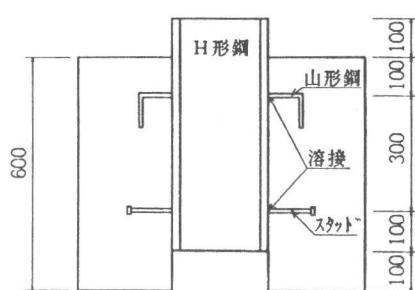
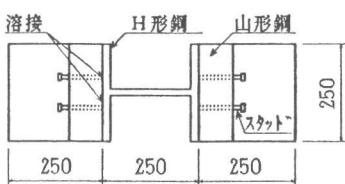


図-1 供試体(T-1)の構造 (単位mm)

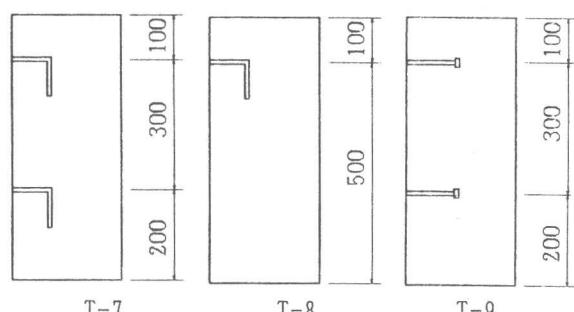
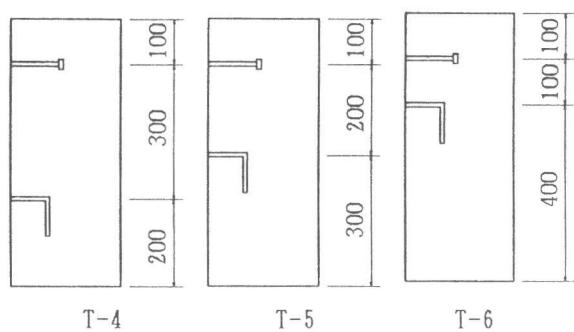
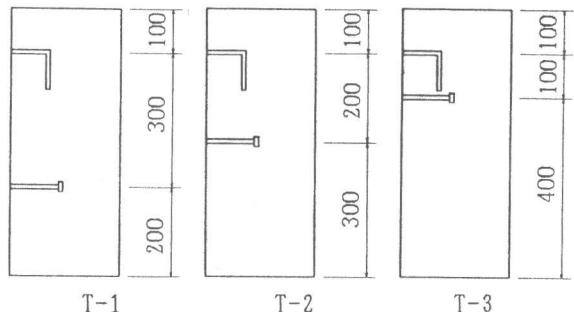


図-2 シアコネクターの配置 (単位mm)

2.2 使用材料

供試体に使用したコンクリートの示方配合を表-1に示す。設計基準強度は 240kgf/cm^2 (= 23.5MPa)である。セメントとして普通ポルトランドセメントを使用した。コンクリート打設は、供試体を水平に寝かせて上方から行った。打設時のスランプ、空気量の測定値はそれぞれ、 20cm 、 4.0% であった。載荷実験の材令における $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 円柱管理供試体の圧縮強度は 432kgf/cm^2 (= 42.3MPa)、引張強度は 32.6kgf/cm^2 (= 3.19MPa)であった。

表-1 コンクリートの示方配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m^3)				
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
20	57.5	49.2	160	279	910	974	0.698

使用した鋼材の材質はSS400である。H形鋼としてH- $250 \times 250 \times 9 \times 14$ 、山形鋼としてL- $75 \times 75 \times 6$ 、スタッドとして $\phi 13 \times 100$ の頭付きスタッドを使用した。山形鋼とスタッドジベルの引張試験の結果を表-2に示す。

表-2 山形鋼とスタッドの引張試験成績

種類	降伏点 (MPa)	引張強度 (MPa)	破断伸び (%)
L- $75 \times 75 \times 6$ 板厚 5.73mm	296	443	30.0
スタッド $\phi 13$ 断面積 132.7mm^2	380	487	28.0

2.3 載荷方法

図-3に示すように、供試体を反力床上に置き、H形鋼上端に載荷した。加力装置として、油圧ジャッキ(容量200tf(=1960kN)、ストローク200mm)を使用した。ジャッキの下端にロードセルを取り付け、荷重を計測した。

ロードセルの下端には球座を用いた。球座とH形鋼の間に、荷重分布板として厚さ50mmの鋼板をはさんだ。供試体と反力床の間には、がたつきを防ぐため厚さ0.5mmのビニールシートをはさんだ。

T-1～T-7では600kN、T-8では350kN、T-9では400kNに荷重が達した時点で、100kNまで除荷し、その後破壊まで単調に加力した。

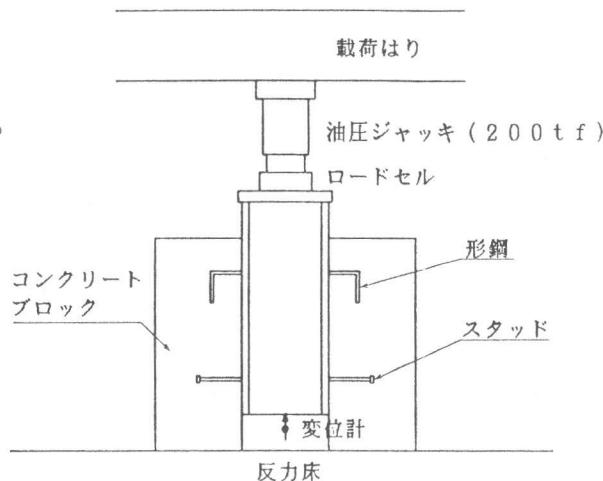


図-3 載荷方法

2.4 計測項目

荷重の測定には、容量200tf(=1960kN)、定格出力1.5mV/Vの圧縮型ロードセルを使用した。容量25mm、感度 $500 \times 10^{-6}/\text{mm}$ の変位計を2個使用してH形鋼の鉛直変位を測定した。2軸亀裂変位計(容量X方向+4mm, -2mm、Y方向±3mm、感度約 $1000 \times 10^{-6}/\text{mm}$)を3個用い、加力方向およびそれと直角方向の、H形鋼とコンクリートとの相対変位を測定した。ゲージ長3mmのひずみゲージを用いて、H形鋼フランジ片面に生じる加力方向のひずみを5箇所で測定した。またゲージ長60mmのひずみゲージを用いて、コンクリート表面に生じる加力方向のひずみを4箇所で測定した。計測位置を図-4に示す。これらの計測は、荷重増分5kN毎に行った。ただし剛性が著しく低下した後はH形鋼の鉛直変位増分0.05mm毎に計測した。また、荷重増分50kN毎に載荷を中断して、ひびわれ進展状況を目視観察し記録した。

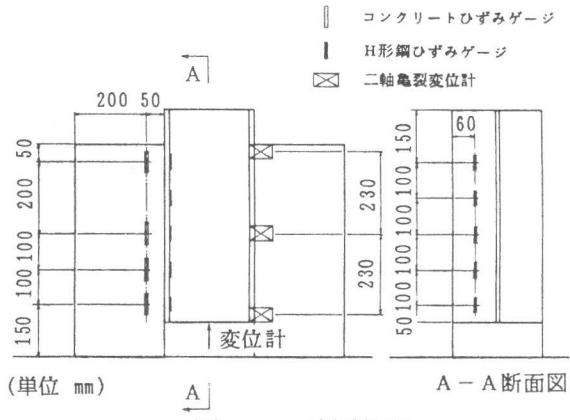
3. 載荷試験の結果

荷重とH形鋼の鉛直変位の関係を図-5に示す。なお、生データでは載荷初期の剛性が低く、約0.5mm変位した後剛性が向上して安定した。この挙動はビニールシートの変形によるものと考えられるため、補正した図を図-5に示す。

H形鋼とコンクリートとのずれ変位と荷重の関係を図-6に示す。図-5と曲線形は相似であるが、図-6の方が変位量が小さい。これは図-5の変位にはコンクリートの圧縮変形量が含まれているためである。

ひずみの測定結果の一例を図-7に示す。この図から、スタッドよりも形鋼の方がせん断力の分担率が大きいことが定性的にわかる。しかし、H形鋼について片面のみにゲージを貼っているため曲げ成分が除去できていないため、定量的な知見は得られなかった。

終局時の代表的なひびわれパターンを図-



(単位 mm) A-A 断面図

図-4 計測位置

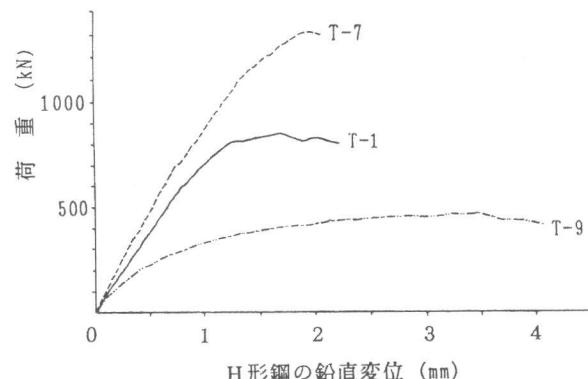


図-5 H形鋼の鉛直変位と荷重の関係

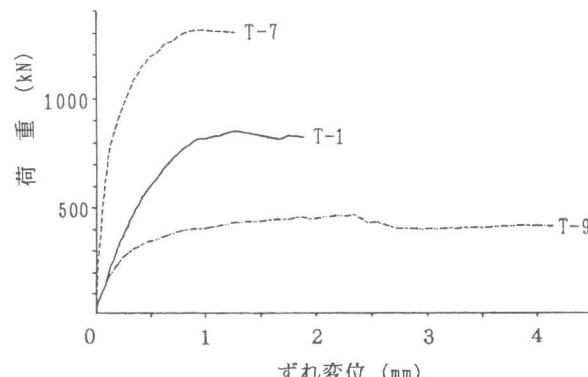


図-6 ずれ変位と荷重の関係

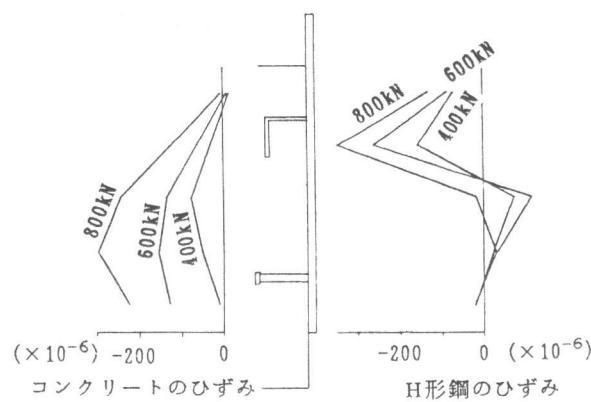


図-7 ひずみの測定結果の一例 (T-1)

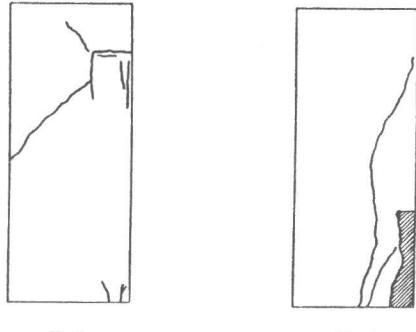
8に示す。破壊形式としては、山形鋼先端から斜め下方にせん断ひびわれが生じたもの（T-1～T-3、T-6～T-8）、山形鋼下部から底面にかけてのコンクリートの圧縮破壊が卓越したもの（T-4、T-5）、およびスタッドジベルの破断によるもの（T-9）に分類できた。

せん断破壊として分類した供試体であっても、山形鋼下部のコンクリートにはひびわれが発生した。

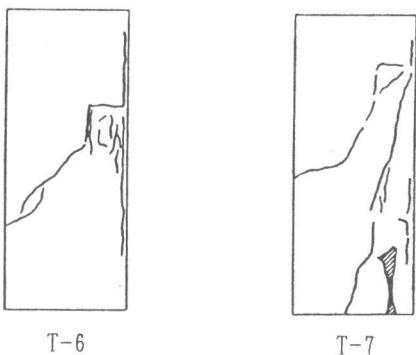
T-9では最大荷重時にスタッドの破断音が聞かれ、荷重が約400kNまで低下した。その後、荷重400kN前後のままH形鋼の鉛直変位が約7mmに達した時点で、再びスタッドの破断音が聞かれ、荷重が約100kNまで低下した。

試験終了後、コンクリートを除去しスタッドを観察した結果、一部のスタッドは破断していた。破断状況は、溶接部での引き抜けであった。

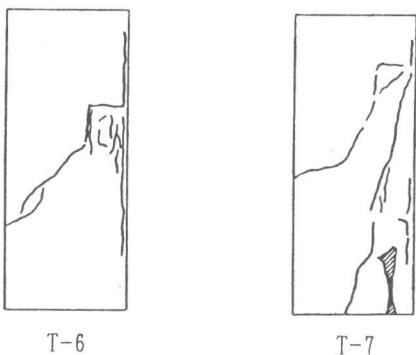
表-3に載荷試験結果の一覧を示す。



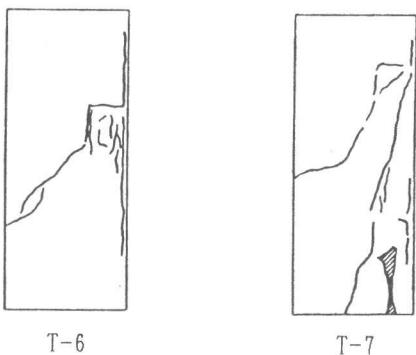
T-1



T-4



T-6



T-7

図-8 終局時のひびわれパターン

表-3 押し抜き試験結果一覧

供試体名	シアコネクター			ずれ変位 0.20mm時 の荷重 (kN)	最大荷重 時 の ず れ 変 位 (mm)	破壊 形式	破断した スタッド の本数	最大荷重 (kN)
	山形鋼の 全幅(cm)	スタッド の本数	間隔 (cm)					
T-1	50	4	30	334	1.27	S	0	850
T-2	50	4	20	343	1.41	S	3	760
T-3	50	4	10	523	1.82	S	1	919
T-4	50	4	30	168	1.69	C	3	755
T-5	50	4	20	256	1.42	C	0	930
T-6	50	4	10	477	1.92	S	2	1063
T-7	100	0	30	894	0.95	S	0	1309
T-8	50	0	0	欠測	欠測	S	0	436
T-9	0	8	30	245	2.33	T	7	461

注) 破壊形式 S : せん断破壊 C : 圧縮破壊 T : スタッドの破断

4. 考察

4. 1 せん断剛性

形鋼を2段配置したT-7の剛性をK₇、スタッドを2段配置したT-9の剛性をK₉とおく。また、T-1からT-6において、形鋼とスタッドの間隔および配置方向が剛性に影響しないと仮定し、T-1か

らT-6までの剛性を単純に平均し、その平均値を K_{1-6} とおく。形鋼とスタッドの剛性が単純に累加されるとすれば、

$$K_{1-6} = \frac{K_7}{2} + \frac{K_9}{2} \quad (1)$$

となる。

表-4に示したずれ変位0.20mm時の荷重を用いて、せん断剛性を[kN/mm]で表す。T-1からT-6までの結果はかなりばらついているが、単純に平均すると、 $K_{1-6}=1750\text{kN/mm}$ となる。一方、T-7とT-9の結果より、 $(K_7/2) + (K_9/2) = 2847\text{kN/mm}$ となる。供試体数が少ないため断定はできないが、本実験の範囲では、形鋼とスタッドを単独で用いたときのせん断剛性を累加して求めた値よりも、混用時の剛性は小さい、という結果になった。

4. 2 変形性能

最大荷重時のずれ変位に関しては、T-1からT-6までについてはいずれもT-7より大きく、T-9より小さかった。ちなみにT-1からT-6までの平均値は1.59mm、標準偏差は0.236mmであった。すなわち本実験の範囲では、形鋼とスタッドを混用した場合、最大荷重時のずれ変位は、両者を単独で用いた場合の中間的な値となった。

4. 3 耐荷力

T-1からT-6までの最大荷重の実験結果に、シアコネクターの間隔と配置の影響は明瞭には認められない。そこで今回はこれらの実験値を平均する。平均値は880kN、標準偏差は107kNとなる。この平均値は、シアコネクターの間隔・配置の違い、破壊形式の違いを包含して、山形鋼とスタッドを1段ずつ用いたときの平均的な強度を示している。一方、T-7の最大荷重の2分の1と、T-9の最大荷重の2分の1の和は、885kNである。この結果から、形鋼とスタッドをそれぞれ単独で用いた場合の強度を用いて、単純な累加により、混用時の強度が算定できるようである。ただし、この結論は、特にT-7の実験結果に大きく依存しており、今後の追加実験の結果によっては再検討の可能性がある。

スタッドを単独で用いたときの耐荷力に関しては、1950年代のViestらの研究[1]をはじめとして、現在まで数多くの研究がなされてきた。平城ら[2]は、既往の試験データについて重回帰分析を行い、その結果から次式を設計式として誘導している。

$$Q_{du} = 110 \cdot A_s \cdot \sqrt{(h_s/d_s) \cdot f_{ck}} - 2200 \quad (2)$$

ここで、 Q_{du} ：スタッドの設計耐荷力(kgf)

A_s ：スタッド軸部の断面積(cm^2)

h_s ：スタッドの全高(cm)

d_s ：スタッド軸部の直径(cm)

f_{ck} ：コンクリートの設計基準強度(kgf/ cm^2)

また、形鋼をシアコネクターして単独で用いたときの耐荷力に関しては、いくつかの研究がな

されている。横田ら [3] は58体の押し抜き試験の結果から、次式を設計式として提案している。

$$P = 65 r \sqrt{t} \cdot w \cdot \sqrt{f_c} \quad (3)$$

ここで、
P : ずれどめの耐荷力(kgf)
r : 山形鋼の場合 = 1 とおく。
t : ずれどめの肉厚(cm)
w : ずれどめの幅(cm)
 f_c : コンクリートの圧縮強度(kgf/cm²)

式(2)を用いてT-9の設計耐荷力を求めると319kN、式(3)を用いてT-7の設計耐荷力を求めると1023kNとなる。式(2)及び式(3)を用いた単純な累加により、T-1~T-6の設計耐荷力を求めると、 $319/2 + 1023/2 = 671$ kNとなる。この設計値は、今回の実験結果に対して、安全側の値を与えており、本実験の範囲では、形鋼とスタッドを混用する場合の耐荷力設計値を式(2)及び式(3)の単純な累加により求めて差し支えないと考えられる。

5. 結論

今回行った実験に基づき、以下の結論が導かれる。

- ① 形鋼とスタッドを混用したときの、押し抜きせん断試験での荷重変位曲線から求まる剛性は、それを単独で用いたときの剛性を累加して求めた値よりも小さかった。
- ② 形鋼とスタッドを混用したときの最大荷重時のずれ変位は、それを単独で用いたときのほぼ中間的な値となった。
- ③ 形鋼とスタッドを混用したときの最大荷重は、それを単独で用いたときの最大荷重を単純に累加することにより算定できた。
- ④ 形鋼とスタッドを混用する場合の耐荷力設計値は、平城らの提案式(式(2))及び横田らの提案式(式(3))の単純な累加により求めてよいと考えられる。

ただし、以上の結論は供試体数が少ない実験から得られたもので、追加実験によるデータの集積を図り、より詳細に検証を加えていく予定である。

謝辞

実験の実施および図面の作成にあたり、研修生半澤文生氏(日本港湾コンサルタント)ならびに非常勤職員久保田耕一氏の御協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Viest, I. M.: Investigation of Stud Shear Connectors for Composite Concrete and Steel T-Beams, Journal of the ACI, V.27, No.8, Apr. 1956, pp. 875-891
- [2] 平城弘一・松井繁之・福本勝士:頭付きスタッドの強度評価式の誘導—静的強度評価式—構造工学論文集、Vol. 35A、pp. 1221-1232、1989. 3
- [3] 横田弘・清宮理:鋼・コンクリート合成部材での形鋼によるずれ止めの耐荷力、港湾技研資料、No. 595、1987. 9