

[153] 合成構造におけるシアーコネクターの基本的な力学性状

正会員 ○ 清宮 理 (運輸省港湾技術研究所 構造部)
 正会員 横田 弘 (運輸省港湾技術研究所 構造部)
 鈴木 操 (日本鋼管 土木建築技術部)
 千葉照男 (運輸省港湾技術研究所 構造部)

1. まえがき

防波堤用ケーソン、浮消波堤、沈埋トンネルなどの港湾構造物を鋼とコンクリートとを合成した部材によって建設することが考えられている。合成部材の採用により、構造物の軽量化、施工の迅速化が図られ、経済的で所定の安全性を保持する港湾施設の建設が可能となる。合成部材に関しては、橋梁、建築物などで実績が多く、設計法もかなり整備されている。港湾構造物への合成部材の採用に当たっては、構造様式、施工性、耐久性などに関して海洋環境を考慮した検討を必要とし、設計法、施工技術などの技術的課題を解明する必要がある。その一つに鋼とコンクリートを合成する際のシアーコネクタ「ズレ止め」の性能評価がある。シアーコネクタとしてスタッドジベル、形鋼などが通常用いられる。図-1に示す港湾構造物では、形鋼による合成を期待する方法が考えられるが、形鋼による合成効果については十分な知見が得られていない。そこで、山形鋼、みぞ形鋼などの形鋼によるシアーコネクタの基本的な力学性状を把握するため、押抜き試験を実施した。シアーコネクタの形状、寸法、コンクリートの強度などの要因がシアーコネクタの強度特性にどのような影響を及ぼすか調べたので、その結果を報告する。

2. 供試体の概要

押抜き試験の供試体の概要を図-2に示す。供試体はH形鋼(H-250x250x9x14)の両側にコンクリートブロックを取り付けた構造で、鋼とコンクリートはシアーコネクタによって連結されている。コンクリートブロックは、高さ60cm、幅25cm、奥行き25cmであり、シアーコネクタは、コンクリートブロック上端より20cmの位置に連続すみ肉溶接で取り付けられている。今回試験を行ったシアーコネクタとしては図-3に示すように、山形鋼(等辺及び不等辺)、防波堤用ケーソン、浮消波堤、沈埋トンネルH形鋼(H形鋼のウェブ中央を切断しT形としたもの)及びみぞ形鋼を用いた。

鋼材の材質はSS41材とした。コンクリートの設計基準強度(σ_{ck})は250、350、450kgf/cm²の3種類とした。粗骨材は碎石で最大寸法は10mmである。なお、コンクリートブロック中には鉄筋を配していない。また、コンクリートブロックと接するH形鋼の面は錆を落とし、グリスを塗布した。

今回試験を行った供試体の総数は30体である。

3. 試験概要

押抜き試験の概要と計測機器の配置を図-4に示す。供試体は反力床に敷いた鋼板($t=50\text{mm}$)の上にセットした。荷重は反力梁に取り付けた油圧ジャッキ(容量100tf)を用いてH形鋼上端から鉛直下向きに行い、供試体が最終強度に達するまで静的・単調増加とした。

計測項目(計測機器)は、載荷荷重(ロードセル)、H形鋼の鉛直変位(変位計)、H形鋼・シアーコネクタ・コンクリートのひ

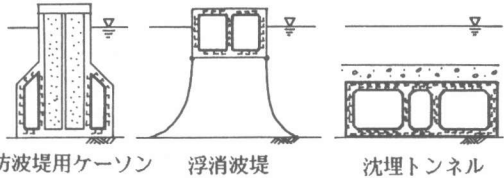


図-1 合成部材による港湾構造物の例(案)

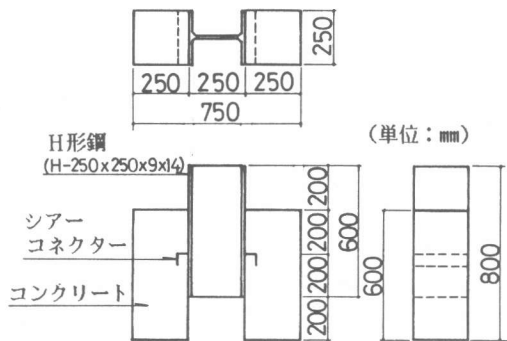


図-2 供試体の概要

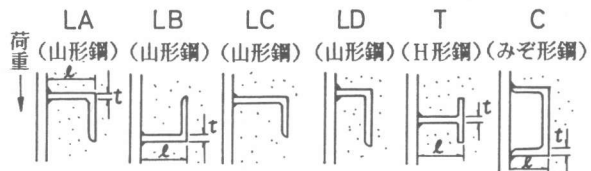


図-3 シアーコネクタの種類

ずみ量（ひずみゲージ）、コンクリートのひびわれ幅（パイ型変位計）およびコンクリートのひびわれ進展状況（目視）である。

4. 試験結果と考察

(1) 実験結果の一覧

各供試体のコンクリートひびわれ発生時と終局時の荷重、終局時のH形鋼の鉛直変位量、破壊形式及び実験時のコンクリートの圧縮強度の一覧を表-1に示す。コンクリートの圧縮強度は、円柱管理供試体（ $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ ）の載荷試験による値を示している。

各供試体での破壊性状は異なっていたが、破壊形式を図-5に示すようにシアコネクタの破断（A）、コンクリートのせん断破壊（B）、コンクリートの圧縮破壊（C）の3種類に分類することができた。このうち、シアコネクタの破断が生じたものは3体で、LBタイプとコンクリート強度が高いLA-12であった。コンクリートの圧縮破壊が生じたものも3体で、シアコネクタがC及びTタイプのものであった。

シアコネクタとコンクリート間にすき間が生じたのは、比較的低い荷重段階であり、その後コンクリートにひびわれが発生した。終局時の荷重は、コンクリートにひびわれが発生した荷重の約2倍であった。

(2) 荷重-変位曲線

いくつかの供試体についての荷重-H形鋼の鉛直変位の関係を図-6に示す。シアコネクタがTタイプのものを除いては、この関係は終局荷重の約50%でコンクリートにひびわれが生じるまではほぼ直線であり、これを越えると勾配が緩やかになってきた。すなわち、コンクリートにひびわれが生じることによりH形鋼の鉛直変位が大きくなった。さらに載荷し続けると急激に変位量が

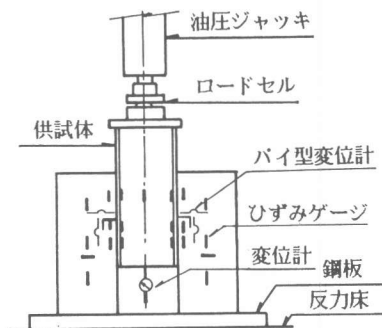


図-4 載荷実験状況と計測機器の配置

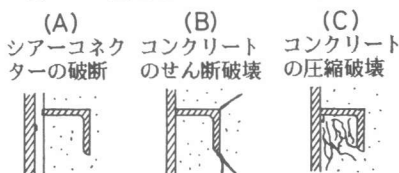


図-5 破壊形式

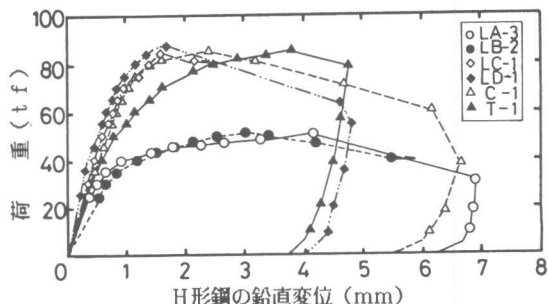


図-6 荷重とH形鋼の鉛直変位との関係

表-1 載荷実験結果の一覧

Na	シアコネクタの寸法	Pc	Pu	δu	FT	f'_c	Na	シアコネクタの寸法	Pc	Pu	δu	FT	f'_c
LA-1	L-40×40×3	30	46	2.8	B	395	LC-3	L-100×75×10	15	80	1.6	B	423
LA-2	L-40×40×5	40	54	2.1	B	395	LD-3	L-100×75×10	30	98	1.8	B	423
LB-1	L-40×40×5	35	60	4.0	A	395	LC-4	L-125×75×10	60	88	1.5	B	423
LA-3	L-50×50×4	45	52	4.2	B	395	LD-4	L-125×75×10	90	96	2.0	B	423
LB-2	L-50×50×4	30	52	3.0	A	395	LA-8	L-40×40×5	20	55	3.1	B	352
LA-4	L-50×50×6	40	62	1.6	B	395	LA-9	L-50×50×4	30	52	3.2	B	352
LB-3	L-50×50×6	52	68	4.5	B	395	LA-10	L-50×50×6	20	50	1.6	B	352
LA-5	L-75×75×6	30	60	1.9	B	395	T-1	H-100×50×5×7	30	86	3.8	C	352
LA-6	L-75×75×9	75	82	1.9	B	395	T-2	H-125×60×6×8	40	88	3.2	C	352
LA-7	L-75×75×12	45	102	3.0	B	395	C-2	C-100×50×5×7.5	40	70	2.5	B	352
C-1	C-100×50×5×7.5	40	86	2.4	C	423	LA-11	L-40×40×5	35	70	1.5	B	486
LC-1	L-90×75×9	84	84	1.4	B	395	LA-12	L-50×50×4	63	63	1.5	A	486
LD-1	L-90×75×9	60	88	1.7	B	395	LA-13	L-50×50×6	40	92	1.8	B	486
LC-2	L-100×75×7	40	80	4.0	B	395	T-3	H-100×50×5×7	50	85	2.6	B	486
LD-2	L-100×75×7	65	72	1.4	B	395	C-3	C-100×50×5×7.5	35	76	1.4	B	486

Pc: ひびわれ発生荷重(tf)、Pu: 終局荷重(tf)、 δu : 終局時のH形鋼の鉛直変位(mm)

FT: 破壊形式(図-5参照)、 f'_c : 実験時のコンクリート圧縮強度(kgf/cm²)

大きくなり破壊に至った。一方、Tタイプのものは明瞭な直線区間がなく、荷重の増加とともに曲線の勾配が緩やかになり、破壊に至った。

(3) ひずみの分布

LA-4 供試体でのH形鋼及びコンクリートに生じたひずみの分布状況を図-7に示す。ひずみは、コンクリートのひびわれ発生前、発生後及びシアコネクター降伏後の各載荷状態時のものを示した。この図より、H形鋼上端からの荷重は、シアコネクターを介して、ほぼコンクリートに伝達されていることがわかる。

(4) シアコネクターの変形

供試体破壊後のシアコネクターの変形状況を図-8に示す。LA及びLCタイプは、溶接部が塑性ヒンジ状になるものと剛なものとの2通りとなった。このうち塑性ヒンジ状のものは、形鋼の寸法が小さく、コンクリート強度が高いもの、すなわち、相対的にシアコネクターの剛性が低く、コンクリートの強度が高い場合に多く見られた。LDタイプでは溶接部が塑性ヒンジ状になったが、他のタイプでは、溶接部が剛で、形鋼が塑性変形をしている状態となった。

(5) コンクリートのひびわれ性状

供試体破壊後のコンクリートひびわれ性状を図-9に示す。ひびわれ性状は、シアコネクターの形状によってほぼ決まる結果となった。LA、LC及びLDタイプについては、シアコネクターの高さ l と肉厚 t (図-3)との比 l/t の値によってひびわれの性状が異なった。すなわち、 $l/t < 10$ の場合にはシアコネクターから下側に、 $l/t \geq 10$ の場合には上側にひびわれが発生した。

(6) シアコネクターの形状と耐荷力

図-10は、シアコネクターの鋼重と耐荷力との関係を l/t の値により分類したものである。これよりシアコネクターの重量が同じならば、 $l/t < 10$ なる形鋼を用いるとより大きな耐荷力が期待できる。

(7) シアコネクターの耐荷力

シアコネクターの耐荷力を求める式としていくつかの設計式が提案されているが、今回の試験により得られた耐荷力が設計式による計算値とどの程度対応しているか調べてみる。既往の設計式はいずれも、今回試験を行ったタイプのシアコネクターを適用の対象としていない。そのため、直接対応させることはできないが、今回の試験にできるだけ近い条件となっている設計式として以下の二式を取り上げた。

i) 道路橋示方書¹⁾：ブロックあるいはみぞ形鋼と輪形筋とを併用したジベル1本の許容せん断力を求める式である。ここでは、コンクリートの許容支圧応力度を一軸圧縮強度と置換え、輪形筋が存在しないものとして、(1)式を用いて耐荷力 P (kgf)を求めた。

$$P = \sigma_1 \cdot A_1 \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 $\sigma_1 = \{0.25 + 0.05 (A/A_1)\} \sigma_{ck}$ 、 σ_{ck} ：コンクリートの圧縮強度(kgf/cm²)

A ：コンクリート断面の面積(cm²)、 A_1 ：支圧を受ける面積(cm²) [$A \leq 5 A_1$]

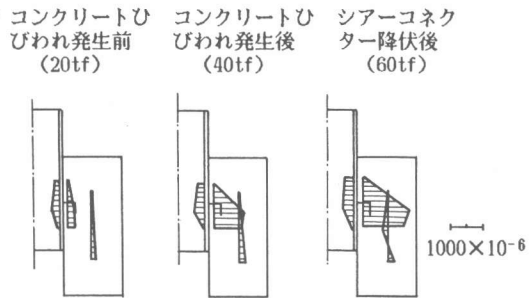


図-7 供試体内のひずみ分布

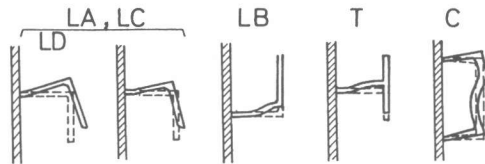


図-8 シアコネクターの変形形状

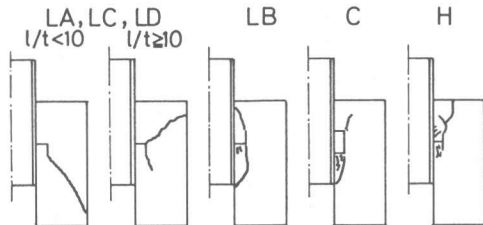


図-9 コンクリートのひびわれ状況

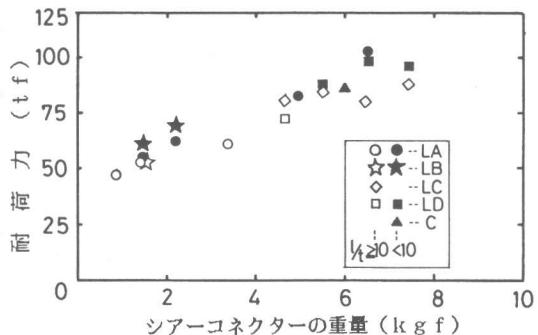


図-10 耐荷力とシアコネクター重量との関係

ii) AISCの式²⁾：みぞ形鋼を対象にして次式で耐力 P (lb) を求めている。

$$P = 550 (h + 0.5t) w \cdot \sqrt{f'_c} \quad \dots\dots (2)$$

ここに、 f'_c ：コンクリートの一軸圧縮強度 (psi)

h 、 t 、 w ：図-12参照

(単位：inch)

両式によって計算された耐力をプロットすると図-11 (a)、(b) のようになる。この図より、式 (1) は今回の実験の下限値、すなわち安全側の値を与えている。しかし、試験結果は全体的にばらつきがあり計算値とよい対応を示しておらず、最大のもので計算値の約1.8倍の差となっている。

一方、式 (2) では、いずれも計算値を下回っており、両者の対応はあまりよくない。

そこで、今回の試験結果に適合するように板厚、シアコネクタの面積、高さ等を因子として、最小二乗法によりシアコネクタの耐力 P (kgf) の算定式を求める試みを行った。この結果、耐力は次式で精度良く求めることができることが判明した。

$$P = 75 \cdot \sqrt{t} \cdot w \cdot \sqrt{\sigma_{ck}} \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 t 、 w ：図-12参照 (単位：cm)、 σ_{ck} ：前出

式 (3) によって試験結果をプロットすると、図-11 (c) のようになる。この図より、シアコネクタの耐力を与える式として式 (3) を用いると、かなり精度良くしかも簡単な計算でシアコネクタの耐力を計算できる。また図-11で、各式を用いて求まる耐力を安全率 (あるいは荷重係数) で除した式を設計式として表示してある。

5. 結論

形鋼を用いたシアコネクタの基本的な力学性状として、今回の試験の範囲で得られた結論は以下の通りである。

- 1) 破壊形式は、シアコネクタの形状、配置、コンクリートの圧縮強度などの影響を受けたが、シアコネクタの破断、コンクリートのせん断破壊及びコンクリートの圧縮破壊の3種類に分類できた。
- 2) 比較的低い荷重でシアコネクタとコンクリートとの間にすき間が生じ、その後コンクリートにひびわれが発生したが、耐力はひびわれ発生荷重の約2倍であった。
- 3) 同一鋼重のシアコネクタを用いた場合、シアコネクタのウェブの高さ l と肉厚 t との比 $l/t < 10$ のものが耐力が大きかった。
- 4) シアコネクタの耐力を求める式として、道路橋示方書及びAISCに示される式と今回の試験結果とを比較すると、両者があまり一致しなかった。今回の試験に用いた形鋼によりシアコネクタの耐力として、式 (3) に示す $P = 75 \cdot \sqrt{t} \cdot w \cdot \sqrt{\sigma_{ck}}$ とすると、両者が良く一致した。

6. あとがき

本研究は、特別研究「ハイブリッド海洋構造物の設計等に関する研究」の一環として実施されたものである。今回有効であると選定されたシアコネクタを用いた合成梁部材の載荷実験を現在実施しており、その結果についても今後順次報告したい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、Ⅱ鋼橋編、1980年 5月
- 2) Roger G. Slutter and George C. Driscoll, Jr. : Flexural Strength of Steel-Concrete Composite Beams, Proc. of ASCE, ST2, 196年5月4, pp. 71-99

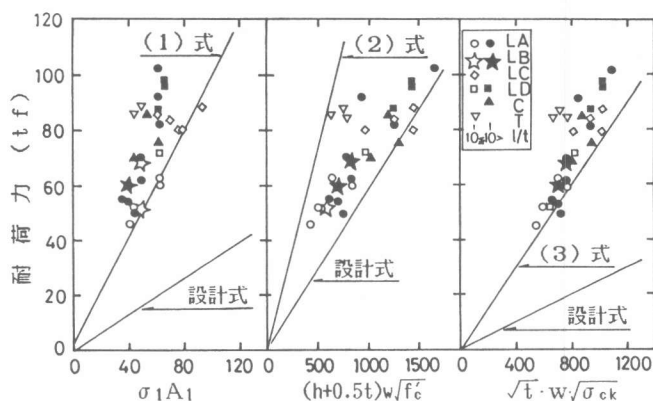


図-11 耐力の算定式と実験結果

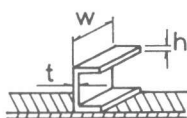


図-12 h 、 t 、 w の定義