

(12) 鋼・コンクリート合成構造の接合部の力学特性

STRENGTH OF T-SHAPED CONNECTION OF STEEL-CONCRETE HYBRID MEMBERS

清宮 理*, 横田 弘**
Osamu KIYOMIYA Hiroshi YOKOTA

To establish the design method for steel-concrete composite port and harbour structures, T-shaped connections between composite members have been studied. Static loading tests have been executed to investigate the behaviours of T-shaped connections of open-sandwich members and sandwich members subject to alternative bending moment. The yield of tensile steel led to the collapse of T-shaped connection in the open-sandwich member and buckling of the diaphragm and crushing of concrete in the joint played important roles to the ultimate strength of T-shaped connections.

1. まえがき

鋼材とコンクリートとを合成した合成構造は、両材料のそれぞれの長所を生かし、短所を補い合う構造様式として種々の構造物へ採用されている。ケーソン式防波堤や沈埋トンネルなどの港湾構造物は、従来鉄筋コンクリート構造で建設されてきたが、これらの構造物への合成構造の採用が検討されている。合成構造の採用により、力学的性能の向上、水密性の確保、形枠・支保工の簡略化などが期待できる。

合成部材の採用にあたっては、部材の力学特性や耐久性などを十分に把握して海洋環境を反映した設計体系を整備していく必要がある。図-1に示す合成構造による防波堤ケーソンでは、形鋼をずれ止めに用いて鋼板と鉄筋コンクリートとを合成する。この合成構造要素におけるずれ止めの耐荷力¹⁾、静的荷重下での力学特性²⁾および繰返し荷重下での疲労特性³⁾などの基礎的な力学特性については既に明らかにされている。これら構造要素の力学特性の把握とともに、部材同志の接合部の力学特性の検討も行う必要がある。この接合部では鋼板同志の溶接が可能であるため、従来の鉄筋コンクリートの接合部と異なる補強方法の採用が考えられる。また、合成構造物のプレハブ化施工などの観点からも、接合方法の確立は重要である。

本報告では、鋼・コンクリート合成構造での接合部の耐力・変形特性などを把握するために、図-1でのT形接合部を対象に、波浪による波圧や中詰め土の土圧などによって繰返しの曲げが作用する場合を想定して、模型試験体を用いた静的繰返し載荷試験を行ったので、その結果を述べる。

* 工博 運輸省港湾技術研究所 構造部

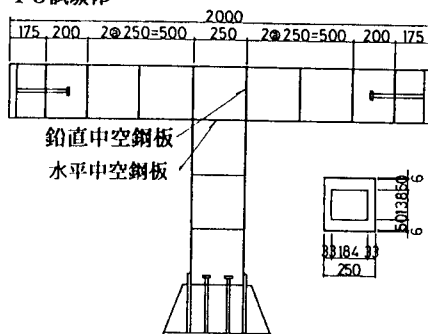
** 工修 運輸省港湾技術研究所 構造部

(1) 試験体の構造

T2:T1に加え、柱部からの鉄筋(D16)をはりの鉄筋を巻くよ

T1 試験体

図-1 合成構造による防波堤ケーソン



T4 試験体

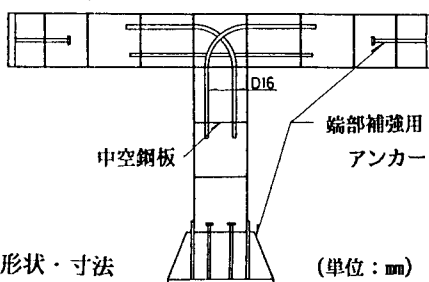


図-2 試験体の形状・寸法

(单位: mm)

T3：はり部の鋼板と柱部の鋼板をすみ肉溶接した接合構造（T1と同様）

T4：T3に加え、柱部分からはり部分に通した鉄筋（D16）により補強した接合構造

今回検討した接合構造は、ハイブリッド部材の特長を生かして、鋼板同志の溶接を接合の基本としている。しかし、鉄筋などによる補強が必要である場合も考えられ、T2およびT4の構造を検討する。

(3)構成材料の特性

試験体製作に使用したコンクリートの材料は、セメントが普通ポルトランドセメント、粗骨材が最大寸法20mmの砕石であり、配合は水・セメント比が44%，細骨材率が44.1%である。コンクリート打設時のスランプ値は8cmであった。また、載荷試験時に測定したコンクリートの圧縮強度、引張強度、曲げ強度はそれぞれ374kgf/cm²，27.5kgf/cm² および50.7kgf/cm² であった。鋼材は、鋼板およびアングルにはSS41材，鉄筋にはSD30A 材を使用した。各鋼材の機械的性質を表－1に示す。

(4)載荷方法

試験体の載荷は図－3に示すような方法で行った。試験体は、柱下端に設けた治具を介して反力床に鋼棒により固定した。試験体のはり部分の両端に設けた載荷用治具を介して、油圧ジャッキと鋼棒4組により交番荷重を載荷した。載荷点での治具の構造はピンであり、曲げやねじれを端部に極力与えないように配慮した。本稿では、図中で試験体の上側より下側に変形する向きのモーメントを与える荷重を正曲げ、逆方向を負曲げと称する。

載荷試験時の計測は、試験体の変形、鉄筋、コンクリートおよび鋼板に生じるひずみ量およびコンクリートのひびわれ幅に関して行った。試験体の変形は変位計で、鋼材のひずみ量およびコンクリートのひずみ量はそれぞれ測定長5mmおよび30mmの電気抵抗線式ひずみゲージで、ひびわれ幅は標点間隔100mmのバイ型ゲージで測定した。

表－1 使用鋼材の機械的性質

名 称	種 類 (mm)	降 伏 強 度 (kgf/cm ²)	引 張 強 度 (kgf/cm ²)	伸 び (%)
鋼 板	板厚 6	31.3	43.5	28.5
鉄 筋	D19	43.9	65.2	17.4
鉄 筋	D16	45.3	63.9	19.4

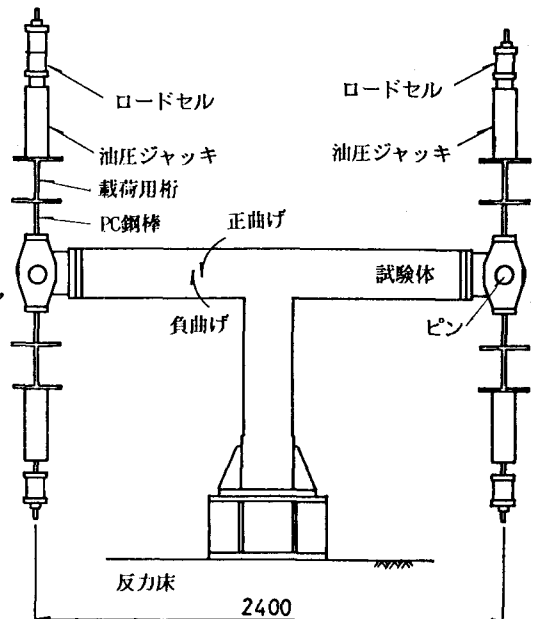
3. 試験結果の概要と考察

(1)破壊形式と破壊荷重

各試験体での荷重および載荷点の変位（片側分）の試験結果値を表－2に示す。また、図－4に試験終了後の試験体のひびわれ発生状況を示す。以下、試験体ごとに破壊の状況を述べる。

①T1試験体

正曲げ時に荷重0.90tfではり部分に曲げひびわれが、負曲げ時に荷重0.45tfで接合部のずれ止めに沿うひびわれが発生した。鋼材の最初の降伏は、正曲げ時に荷重2.50tf程度で主筋に、負曲げ時に荷重2.30tf程度で接合部の水平中空鋼板において生じた。破壊時には、初期に発生したコンクリート縁の曲げひびわれ、接合部の中空鋼板とコンクリートとの間に大きな隙間が認められた。また、接合部のずれ止めには曲げ変形が生じた。鋼板の座屈・局部変形あるいはコンクリートの圧縮破壊などの現象は認められなかった。最大荷重は正曲げ時、負曲げ時とも4tf程度であった。



図－3 載荷の状況 (単位: mm)

②T2試験体

正曲げ時に荷重0.80tfではり部分に曲げひびわれが、負曲げ時に荷重0.50tfでずれ止めに沿ったひびわれが発生した。鋼材の降伏は、正曲げ時に荷重3.50tf付近で主筋の付け根に、負曲げ時に荷重3.70tf付近で接合部の中空鋼板に生じた。終局状態では、コンクリート上縁の曲げひびわれの開口が著しくなり、補強筋に沿ってひびわれが生じた。鋼板の座屈・局部変形、コンクリートの圧縮破壊などは認められなかった。最大荷重は負曲げ時は4.02tfとなりT1試験体での結果と同程度となったが、正曲げ時は4.50tfとなり補強によって若干耐荷力が上昇した。

③T3試験体

ひびわれのは接合部の鉛直中空鋼板に沿って発生し、このひびわれ幅が正曲げ、負曲げ時ともに荷重1.20tf程度で0.1mmに達した。鋼材の降伏は、正曲げ時に荷重7.20tf程度で上側の鋼板に、負曲げ時荷重が3.00tf程度で接合部の水平中空鋼板に生じた。終局状態では、正曲げ時に水平中空鋼板付近でコンクリートの圧縮破壊、負曲げ時に側面鋼板および接合部の鉛直中空鋼板とコンクリートとの剥離が顕著になった。また、耐荷力がオープンサンドウィッチ

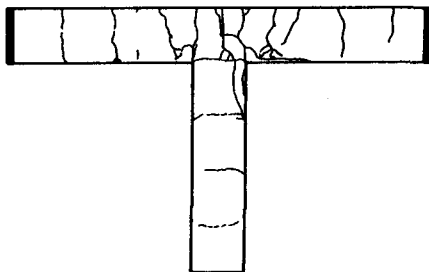
表-2 試験結果

構造のものより大きいので、はり部分にせん断ひびわれが生じた。最大荷重は、負曲げ時に5.56tf、正曲げ時に12.18tfであった。

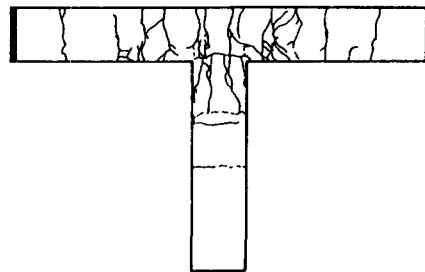
接合部の中空鋼板の変形状況を観察したところ、中空鋼板の切断は以下のような過程を経て進展することがわかった。i)負曲げ時に降伏が生じて塑性変形が進行すると、次ステップの正曲げ方向の変

試験体	荷重の方向	ひびわれ発生荷重 (tf)	鋼材の降伏荷重 (tf)	鋼材の降伏時変位 (mm)	最大荷重 (tf)	最大荷重時変位 (mm)
T 1	負曲げ	0.45	2.29	2.11	4.02	20.98
	正曲げ	0.90	2.61	3.48	3.91	24.52
T 2	負曲げ	0.50	3.00	2.27	4.02	13.52
	正曲げ	0.80	3.67	5.75	4.50	58.03
T 3	負曲げ	(1.20)	3.00	2.51	5.56	17.59
	正曲げ	(1.20)	7.19	4.06	12.18	36.16
T 4	負曲げ	(1.80)	4.40	3.00	7.29	15.07
	正曲げ	(1.80)	7.10	3.85	13.85	40.13

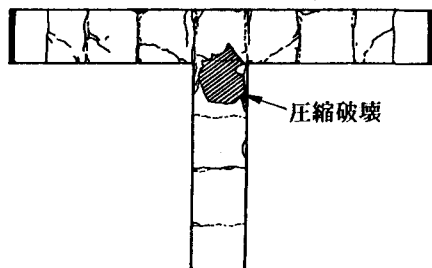
T1試験体



T2試験体



T3試験体



T4試験体

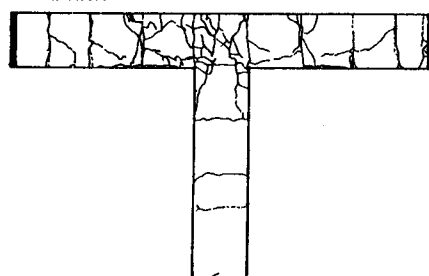


図-4 ひびわれ発生状況

形に対して鋼板の面内座屈が生じた。ii)この座屈変形は負曲げ時に元に戻るが、再び正曲げ時に生じた。iii)中空鋼板とコンクリート間の隙間が大きくなると、座屈変形は面外方向に生じ、最終的に中空部の根本で切斷した。

④T4試験体

初期ひびわれの発生荷重は明確ではなかったが、接合部の鉛直中空鋼板沿いにひびわれが発生した。このひびわれ幅は正曲げ時、負曲げ時ともに荷重が1.80tf程度で0.1mmに達した。鋼材の初期降伏は正曲げ時に荷重7.10tfで上側の鋼板に、負曲げ時荷重4.40tfで接合部の水平中空鋼板に生じた。終局状態は、T3試験体と比較して鋼板とコンクリートとの剝離は小さかったが、試験体中心の鉛直方向に発生したひびわれが非常に大きくなった。また、負曲げ時に接合部の鉛直鋼板に挟まれた上側鋼板が上方向に座屈した。最大荷重はT3試験体より若干大きくなったが、補強の効果は顕著でなかった。

(2)試験体の変形

試験体T1とT3の片方の載荷点での荷重と変位との関係を図-5および図-6に示す。T1試験体では、正曲げ時に荷重3.50tf程度で、負曲げ時には荷重3.0tf程度で荷重-変位関係の勾配が小さくなってきた。その後、この関係の包絡線は横流れあるいは漸増して最高荷重に至った。T2ではT1と比較して、正曲げ時には大きな変形力が得られ、接合部の補強によってじん性が大きくなった。これは柱から伸びた鉄筋がはりの主鉄筋を拘束していたためであると考えられる。T3では正曲げ時に荷重が3.5tf付近でせん断力により変位が流れる現象を示したが、その他はT1とほぼ同様の傾向を示した。T4ではT3とほぼ同様の傾向であり、接合部の補強が強度や変形に大きな影響を与えなかった。

(3)補強筋に生じたひずみ

補強鉄筋に生じたひずみとして、T4試験体でのはり軸方向の鉄筋での測定結果を図-7に示す。この鉄筋ははりの中空鋼板に溶接で定着されており、繰返し荷重下での発生ひずみの最大値はほとんど変化せず 2000×10^{-6} 程度であった。

(4)ひびわれ幅

T4試験体の接合部で計測されたひびわれ幅と荷重との関係を図-8に示す。T3試験体では前述のように中空鋼板沿いにひびわれが集中したが、T4試験体では補強鉄筋が配置されているため接合部内にも多数のひびわれが生じ、接合部に分散した。この接合部のひびわれ幅は、正曲げ時の鋼材降伏時に既に0.3mmを超えた。その後このひびわれ幅は大きくなり、負曲げ時の鋼材降伏時に1.8mm程度にまでなった。

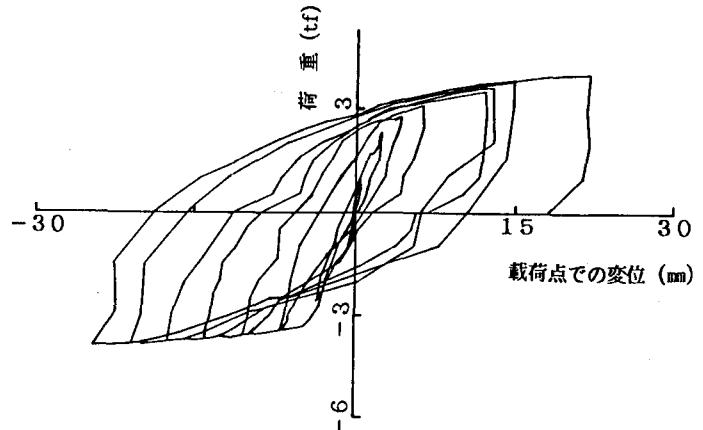


図-5 荷重と変位との関係 (T1試験体)

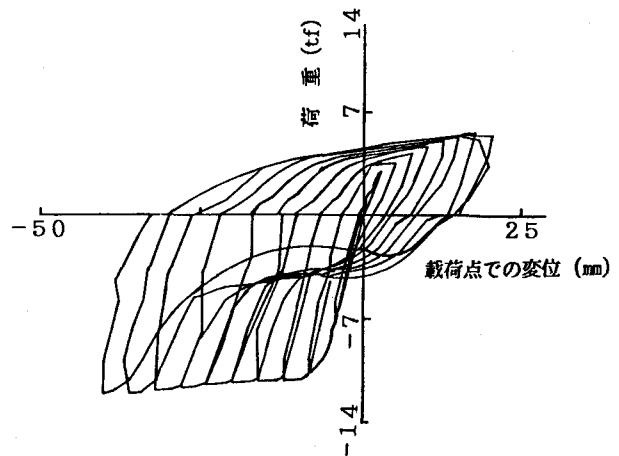


図-6 荷重と変位との関係 (T3試験体)

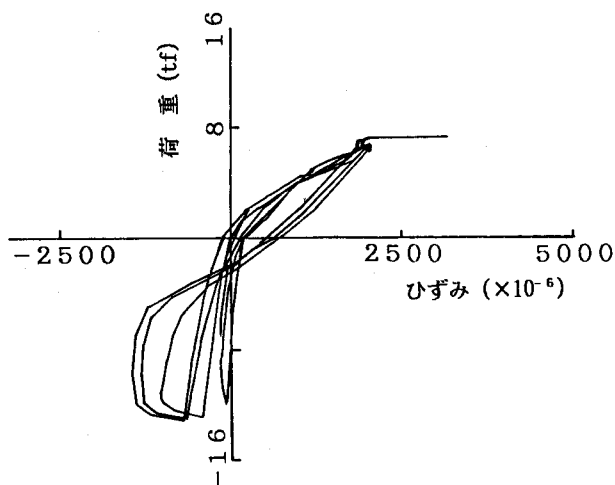


図-7 荷重と補強筋のひずみとの関係 (T4 試験体)

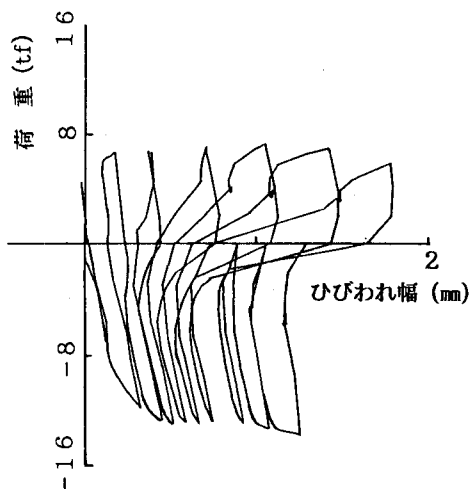


図-8 荷重とひびわれ幅との関係 (T4 試験体)

4. まとめ

T形接合部を対象とした正負繰返しによる静的載荷試験の結果、本研究の範囲で得られた主要な結論は以下の通りである。

- ①オープンサンドウィッチ構造では、正曲げ時に主鉄筋、負曲げ時に接合部の水平中空鋼板が降伏して破壊に至った。鋼板の座屈やコンクリートの圧縮破壊は見られなかった。接合部内では主に正曲げによるひびわれが生じた。補強鉄筋を接合部内に配置することにより耐荷力およびじん性とも若干向上した。
- ②サンドウィッチ構造では、正曲げ時に上側鋼板、負曲げ時に接合部の水平中空鋼板が降伏して破壊に至った。また、中空鋼板の座屈、破断およびコンクリートの圧縮破壊が見られた。接合部内では、補強鉄筋がない場合、ひびわれは中空鋼板および上側鋼板に沿って集中して発生した。しかし、補強鉄筋がある場合には、接合部内のコンクリートにも曲げおよびせん断ひびわれが生じた。この構造では、補強鉄筋を配置しても耐荷力やじん性が必ずしも向上しなかった。
- ③今回のT形の接合方法では、接合部内にもひびわれの発生、接合部端部での中空鋼板の降伏や破断が見られた。

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。接合部の力学特性に関しては、L形隅角部を対象とする載荷試験も実施されており、今後発表をする予定である。

参考文献

- 1)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, 港湾技術研究所資料 No 595, 1987年9月
- 2)横田 弘, 清宮 理: 鋼-コンクリート合成はりのせん断補強鉄筋が終局耐力に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集 9-2, 1987年, pp 531-536
- 3)横田 弘, 清宮 理: 鋼・コンクリート合成はりの疲労特性, コンクリート工学年次論文報告集 11-2, 1989年, pp 57-62