

報告

[2196] 純引張力を受ける合成版式ケーソンの接合部の構造と耐荷力

清宮 理

1. はじめに

外洋から臨海部へ波浪の進入を防止する波浪制御構造物は、通常箱形の鉄筋コンクリート製で建設される。水理的な合理性やコンクリート被覆ブロックの省略化から図-1に示す特殊な構造様式の構造を持ったケーソンが現在提案されている。この波浪制御構造物は、静岡県下田港の水深-40mの湾口に建設中である。消波ブロックを箱形ケーソンの前面に積む従来の方法では工費が増大するので、ケーソンの上部に積む方法をここでは採用した。このことから消波ブロック内蔵双胴型ケーソンと呼ばれている。ケーソンの高さは23.5m、底部での幅は33.5m、奥行きは22.0mである。重量は約9800tfである。波浪時に内蔵された消波ブロックには、大きな値の波圧が作用する。この波圧によりケーソン壁に、大きな断面力が部分的に生じる。この断面力に対して鉄筋コンクリート部材では配筋が困難である。したがって、断面力の大きな箇所は合成版により、断面力の小さな箇所は鉄筋コンクリートで製作することとした。図-2にケーソンの断面を示す。図中の斜線部が合成版により、他の部分が鉄筋コンクリートで建造される。外壁（合成版）と底版（鉄筋コンクリート）、頂版（合成版）と外壁（合成版または鉄筋コンクリート）とに接合部（図-2でA部からD部まで）が存在する。この接合部の主たる断面力は軸引張力である。この軸引張力に耐え得る接合部の構造細目の設定と載荷試験によりこの接合部の耐荷力やひび割れ発生性状などの力学性状を把握する。

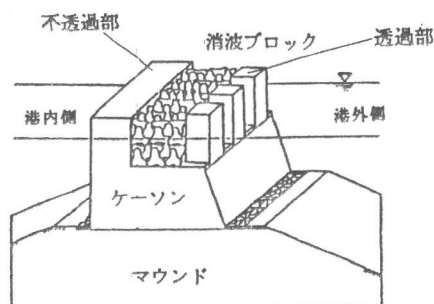


図-1 双胴型ケーソンの概要

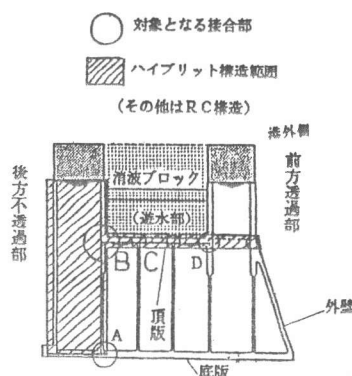


図-2 接合部の位置

2. 接合部の構造設計

2.1 断面力の計算

港湾用のケーソンに作用する主荷重は波圧、土圧、自重などである。室内水理実験より得られたケーソン壁に作用する波圧の分布を図-3に示す。設計に用いる波浪条件は、50年確率波で最大波高14.9m、周期17.4秒である。この波圧分布を基に有限要素法（弾性解）によりケーソンの各部材の断面力を計算する。計算結果より頂版と不透過部の隔壁とのB接合部の箇所に最大で491tfの軸引張力が得られる。

2. 2 接合部の構造

各接合部の構造を図-4に示す。A部は、底版（鉄筋コンクリート）と外壁（合成版）との接合部で外壁の鋼板を底版内部まで延ばし先端にアンカープレートを取り付けて固定してある。外壁の主鉄筋は底版下端の主鉄筋に定着してある。B部は、頂版（合成版）と遊水部の外壁（鉄筋コンクリート）との接合部である。頂版のT形鋼を外壁のT形鋼に接続させ、主鉄筋を形鋼のフランジを貫通させ外壁の鋼板にまで延ばし定着する。鋼板は外壁の接合部で折り曲げてスタッドにより外壁の鉄筋コンクリート部に定着してある。C部は頂版（合成版）と隔壁（鉄筋コンクリート）との接合部である。頂版の鋼板を隔壁側に折り曲げて延長しスタッドでコンクリートに定着する。また隔壁の主鉄筋を頂版の上側まで延ばし定着する。D部は頂版と外壁（鉄筋コンクリート）との接合部である。頂版内のT形鋼を外壁外側まで延ばしアンカープレートで定着する。また鋼板を折り曲げてスタッドにより外壁に定着する。

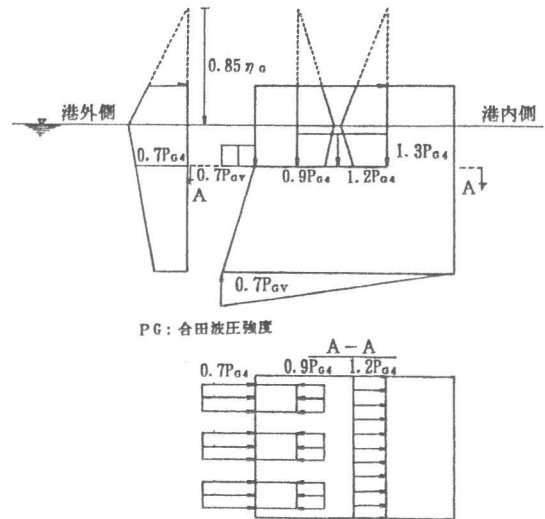


図-3 波圧の分布

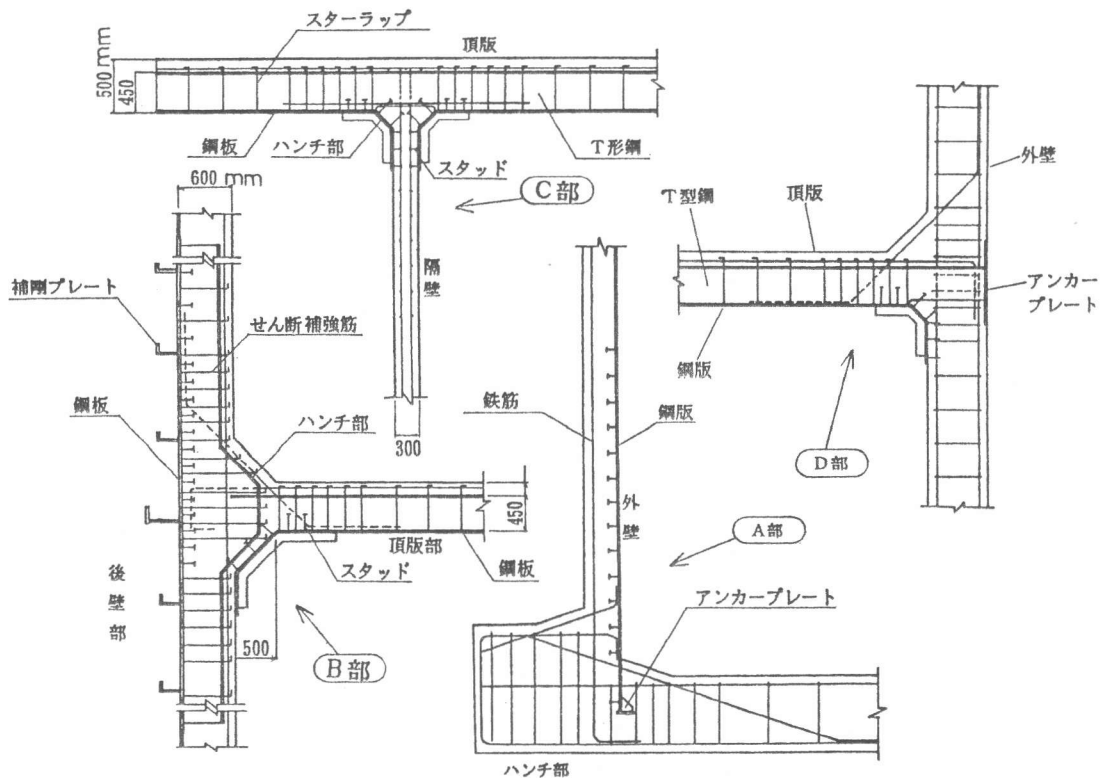


図-4 接合部の構造

2. 3 計算方法

今回の接合部の構造設計²⁾では、接合部を隣接する他の部材より剛度が大きい剛体とみなす。このため接合部では鋼材にガセット、鉄筋コンクリート部分にハンチを取り付け接合部の剛性を

高める。接合部に隣接する箇所で曲げ耐荷力、せん断耐荷力及び軸引張力を計算する。合成版の曲げ耐荷力及びせん断耐荷力は、鉄筋コンクリート部材に準じて行う。すなわち鋼板とT形鋼を剛性の等価な鉄筋に置き換える。せん断耐荷力は、コンクリートのせん断耐荷力とT形鋼のウェブの鋼板のせん断耐荷力を累加して計算する。設計軸引張力は、鋼材の断面積に降伏強度を乗じて求める。

3. 軸引張載荷試験

3. 1 試験体

載荷試験の対象とする接合部は、B部、C部及びD部である。試験体の総数は4体である。今回A部は断面力が小さいことから検討対象から除く。試験体の概要を図-5に示す。試験体の形状はH型である。B部の試験体の縮尺は、実物大である。試験体の長さは4.1m、幅は3mである。頂版部の長さは2.9mでそのうちハンチ部が1.0mである。頂版部に対応する部材の幅は50cmである。ここでは厚さ10mmの鋼板（材質 SS400）にT形鋼を溶接する。T形鋼のフランジの幅は20cm、板厚は22mmで、ウェブの高さは42.8cm、板厚は10mmである。鋼板には直径19mm高さ20cmのスタッドが、また直径19mmのせん断補強筋（材質 SD345）が22cm間隔にそれぞれ溶接されている。鉄筋コンクリート側の主鉄筋は、直径25mm（材質 SD295）である。B部では接合部に補強するものとしなないもの2体を製作する。補強はハンチ部を対象としており図中の左側のハンチ部の鋼板にスタッド4本、主鉄筋に6本の長さ75cmのせん断補強筋を配置する。C部およびD部の試験体は、実物の1/2模型である。C部の試験体の長さは205cmで幅150cmである。試験体の部材の厚さは25cmである。頂版部の部材の高さは30cm、隔壁の幅は15cm、側壁の厚さは30cmである。頂版の鋼板を隔壁の方に30cmほど折り曲げスタッドにより鉄筋コンクリート部に定着させる。直径10mmで高さ10cmのスタッドと直径10mmのせん断補強筋が鋼板に溶接されている。頂版の鋼板の板厚は6mmである。T形鋼のフランジの幅は10cmで板厚は12mm、ウェブの高さ213mmで板厚は12mmである。D部の試験体は長さが215cm、側壁部の高さが35cmであり、他の基本寸法はC部の試験体と同じである。D部の試験体では、頂版部のT形鋼を側壁の端部まで延長し、厚さ22mmのアンカープレートに溶接されている。

使用するコンクリートは普通コンクリートで、呼び強度が240Kgf/cm²である。粗骨材の最大寸法は20mm、スランプは8cmである。混和剤としてAE減水剤を入れる。載荷試験時のコンクリートの強度試験結果と鋼材の強度試験結果を表-1に示す。

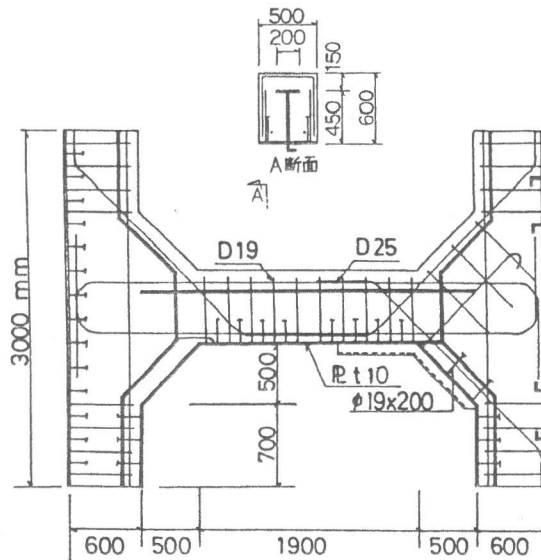


図-5 試験体の概要

表-1 使用材料の強度試験結果

コンクリートの試験結果 [kgf/cm ²]		
	圧縮強度	引張強度
B部補強あり	326	34.3
" なし	279	33.9
C部	294	32.7
D部	307	32.9

鋼材の試験結果 [kgf/cm ²]			
	降伏点	ヤング率	伸び[%]
鋼板	2920	2.06 e6	28.0
D13	3730	1.88 e6	26.5
D25	3380	1.99 e6	31.0

3. 2 試験方法

図-6に荷重方法を示す。荷重は2台の油圧ジャッキを試験体に取り付け軸引張力を静的に試験体に作用させる。B部の試験体では容量500tfでストローク20cmの油圧ジャッキを、C部およびD部の試験体では容量120tfでストローク15cmの油圧ジャッキを使用する。2台の油圧ジャッキを荷重と変位量とを調整しつつ試験体が荷重時に偏心しないように極力つとめる。試験体と床との摩擦を極力取り除くためローラーを試験体と床の間に置く。測定項目は試験体の変位、載荷荷重、鋼材とコンクリートのひずみおよびひび割れ幅である。B部試験体に関して図-7にひずみ測定位置、変位計とパイゲージ(ひび割れ幅測定用)の配置を示す。

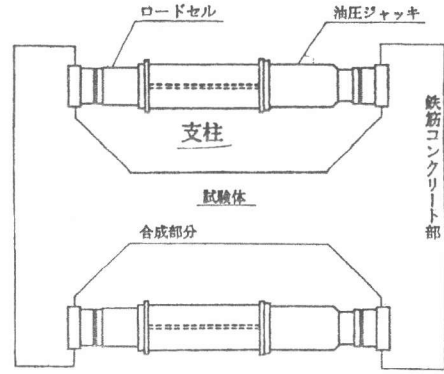


図-6 荷重方法

4. 試験結果

4. 1 破壊状況

載荷試験で得られた荷重と変位の関係を図-8に示す。ハンチ部に補強のない試験体では、両ジャッキの荷重の合計が39tfのときハンチ部と外壁の鉄筋コンクリート部の交差部より外壁内部の方向に初期ひび割れが発生した。載荷荷重の増加とともにひび割れがハンチ部や頂版部に分散して発生した。その後頂版部材内にはほぼ30cm間隔にひび割れが分散して発生した。載荷荷重が179tfでは、頂版部のハンチの付け根の箇所でひび割れが部材を貫通した。その後載荷荷重が344tfのときこのハンチ内のせん断補強鉄筋が降伏し、480tf以上となると荷重値はほぼ一定となり変位のみが増加した。鉄筋降伏時の変位の10倍以上の変位となったとき接合部付け根の鋼板側のコンクリートが圧壊して終局を迎えた。終局時のひび割れ発生状態を図-9に示す。ハンチ部に補強してある試験体では、荷重と変位との関係とひび割れ発生状況が補強してあるのとほぼ同じであった。C部の試験体では、載荷荷重7.2tfのとき頂版部に初期ひび割れが発生しその後側壁部のハンチ内に斜め方向にひび割れが進展した。また12tfを越えると頂版の鋼板沿いにひび割れが進展した。94tfのとき頂版の主鉄筋が降伏し155tfで最大載荷荷重となった。この時点で側壁とハンチの交差点付近でコ

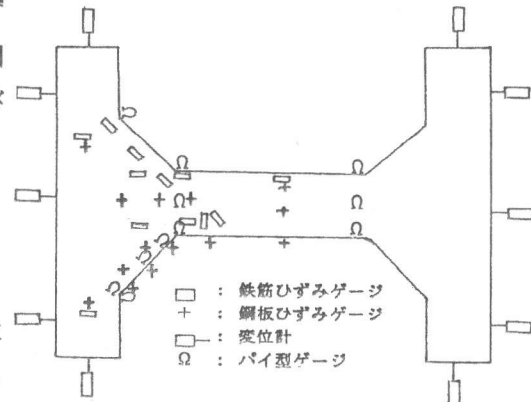


図-7 測定位置

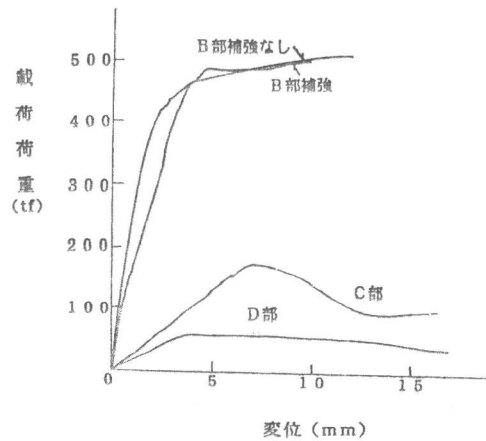


図-8 荷重と変位との関係

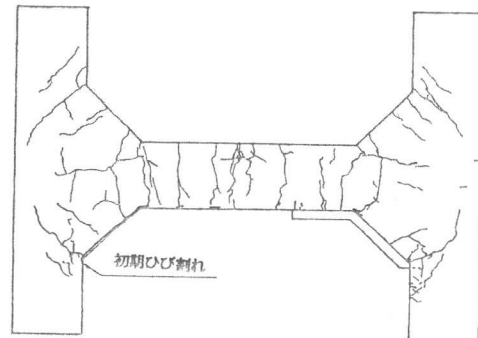


図-9 ひび割れ状況

ンクリートのせん断破壊が生じ、載荷荷重が急激に減少した。D部の試験体では載荷荷重が8tfのときハンチの付け根の頂版部に初期ひび割れが生じ、さらに鋼板とコンクリートの剥離が見られた。34tfのとき頂版部の主鉄筋が降伏しその後載荷荷重は増加せず変位のみ増加した。ハンチ部などに変位量が20mmまでせん断破壊など生じなかった。

4. 2 鋼材のひずみ

図-10にB部の試験体での鋼材のひずみ量の分布を示す。載荷荷重335tfのときハンチ部内のせん断補強鉄筋の側壁側と頂版部のT形鋼のウェブに1500 μ のひずみ量が測定された。せん断補強鉄筋のひずみ量はハンチ内から頂版部材内に向かって小さな値となった。頂版部内では、主鉄筋とT形鋼のウェブではひずみ量がほぼ同じだが、鋼板部ではかなり小さな値であった。ハンチ部の鋼板部ではひずみ量がせん断補強筋側より1/3ほど小さな値であった。また頂版部とハンチの付け根ではほとんどひずみ量が測定されなかった。B部のハンチ部に補強した場合鋼板のひずみ量は補強しなかった場合の同じ載荷荷重でのひずみ量よりかなり小さく、補強効果が見られた。

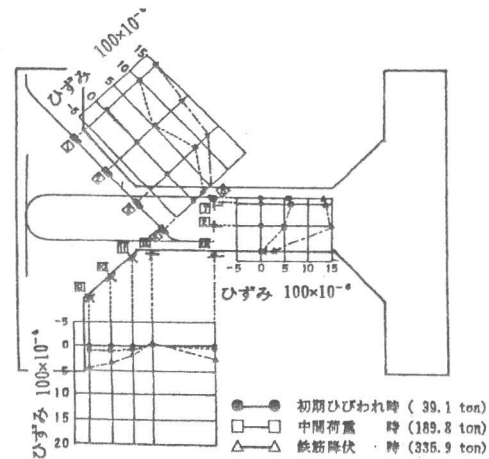


図-10 鋼材のひずみ量の分布

4. 3 ひび割れ幅

図-11にハンチ部での鋼板とコンクリートとの剥離幅と載荷荷重との関係を示す。ハンチ部に補強のない場合には載荷荷重が約60tfから鋼板とコンクリートとの剥離が始まり、ハンチ部中央では100tfを越えると剥離量は1mm以上となった。一方補強がある場合には剥離量は、無い場合と比較してかなり小さい値で、450tfを越える付近から1mm以上となった。剥離を押さえる点で補強効果が認められた。図-12に頂版部ハンチ基部での鋼材のひずみ量とひび割れ幅との関係を示す。ここでパイゲージP-2でのひび割れ幅とハンチ基部の主鉄筋で計測されたひずみ量との関係及びP-4でのひび割れ幅とT形鋼ウェブでのひずみ量との関係で整理を行った。図-12に示すように鋼材のひずみ量がさほど大きくならないうちからひび割れ幅が増大した。またひび割れ幅の増加状況も通常のコンクリート梁の曲げによるひび割れ幅の増加よりも、ひずみ量の増加に対して大きい。

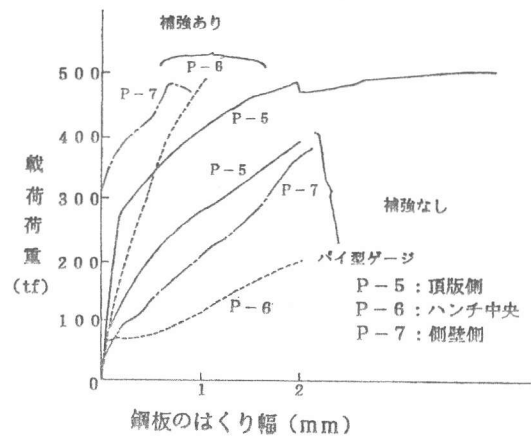


図-11 剥離量と載荷荷重との関係

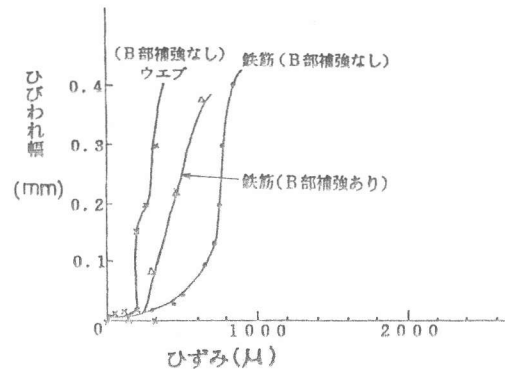


図-12 鋼材のひずみ量とひび割れ幅との関係

5. 設計値と試験値との比較

B試験体で設計値と試験値との比較を行う。終局限界状態の荷重係数を波力 1.3、土圧と静水圧 1.1に、部材係数を 1.3、構造物係数を1.1 また材料係数としてコンクリートを 1.3、鋼材を 1.0 にそれぞれ設定する。使用限界状態では、考慮する波高を最大波高の 0.4倍とし各係数を1.0 に設定する。頂版部（奥行き50cm）の引張力に対する終局限界状態の設計耐荷力は 439tfで使用限界状態の設計値は98tfである。また特性値による終局限界状態の耐荷力は 628tfである。試験値での最大荷重は、B部の補強有り試験体で 503tf、無しの試験体で 512tfであるので一応設計値以上の耐荷力を試験体が保有していたことになるが、載荷試験では特性値による終局限界状態の耐荷力には約100tf 不足していた。これはハンチ部でのせん断破壊が見られたことから接合部の剛性が低下し頂版部の耐荷力が十分発揮できなかったからだと考えられる。

使用限界状態ではコンクリートのひび割れ幅を照査することになるが、今回98tfに対応するひび割れ幅は、主鉄筋位置で 0.2mm程度であり海洋環境下での許容値（0.21mm）はほぼ満足していた。ただし鋼板とコンクリートとの剥離量は図-11に示すように鋼板に補強がないと許容値をかなり超え望ましいものではなかった。C部及びD部についてもほぼ同様な結果を得た。

6. 結論

(1) 純引張力を受ける合成部材の接合部では、鋼材の降伏で耐荷力が決定された。ただし接合部の端部やハンチ部でひび割れが進展し終局時にせん断破壊を示した。

(2) 接合部内では斜めひび割れ、梁部材ではハンチ基部での貫通ひび割れが卓越した。ただしひび割れはハンチ基部に集中することなく部材内にほぼ分散して発生した。

(3) 純引張を受ける箇所でのひび割れ幅と鋼材のひずみ量との関係は、曲げを受ける従来の鉄筋コンクリート梁の場合よりもひずみ量に対するひび割れ幅の増加の程度がかなり大きい。

(4) 接合部内にせん断補強を施すと、鋼板のコンクリートからの剥離が抑制されるが終局耐荷力に及ぼす影響は小さかった。

参考文献

- 1)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、平成元年6月
- 2)沿岸開発技術研究センター：合成版式ケーソン設計マニュアル、平成3年3月
- 3)清宮理、横田弘：鋼コンクリート合成構造物の接合部の力学特性、第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、土木学会、pp. 75-80, 1989
- 4)清宮理、山田昌郎：合成部材を用いた港湾用ケーソンの接合部の構造と設計、混合構造の力学的挙動と設計施工の関するシンポジウム、pp. 43-48, 1991, 12