

日立造船(株) 正員 竹下 治之

日立造船(株) 正員 岩田 節雄

1. まえがき 海洋資源の開発、海洋空間の利用などの海洋開発に伴い、苛酷な環境下にある海洋構造物に適合する新しい構造様式の開発が望まれる。著者らはこの海洋構造物の構造部材として適用すべき構造様式に対し数年来研究を重ねてきた。その一つに、図1に示すような鋼板間にコンクリートを充填したサンドイッチ式複合構造物がある。この種の複合構造物の基礎的強度特性を調査検討するために、10数種類の構造様式に対し模型実験を実施したのでその概要を報告する。

2. 実験概要 実験模型を図2に示す。B1～B8は引張側および圧縮側鋼板にずれ止めとして形鋼を取付け鋼板とコンクリートと合成させたるもの、B9はウェブに代えてトラス状を配置したものである。B10、B11は形鋼のずれ止めを廃止し軸方向に2条のリブと取付け鋼板の曲げ剛性を増加させたもので、B12、B13は引張側鋼板の一部を異形鋼棒に置換したものである。さらに、B14はB2とB11の併用型である。実験に使用したコンクリートは設計基準強度250 $\text{kg}/\text{cm}^2$ であり、荷重は図2に示すように模型中央に油圧ジャッキを用いて破壊に至るまで段階的に負荷した。

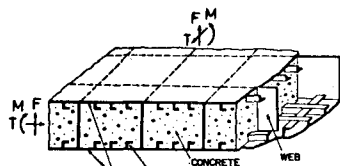


図1. サンドイッチ式複合構造物

3. 実験結果および考察 模型の荷重とたわみの関係を図3に示す。いずれの模型においても、鋼板と圧縮域のコンクリートと考慮して求めた梁理論による初期降伏荷重までは荷重-たわみの間にはほぼ直線関係が成立する。この初期降伏荷重に至るまでの範囲で剛性(荷重/たわみ)を比較すると、いずれの模型においても計算値は計算値よりも低い。これは、形鋼のずれ止め間隔が比較的大きいあるいは存在しないために鋼板とコンクリートの間の水平剪断力の伝達が不十分で、両者の間に滑りが生じ剛性が低下するからである。しかし、このような鋼板とコンクリートのずれあるいはコンクリートのクラックは若干の剛性低下を引き起すが、荷重-たわみの直線関係はほぼ成立し、繰返し負荷に対しても再現性を示すことが実験的に確認されている<sup>(1)</sup>。

図4にコンクリートの主歪の一例を示す。図から、コンクリートは近似的に合成梁の挙動から次第にアーチ的挙動に移行しているのがわかる。このような傾向から、ウェブの応力は近似的にコンクリートを斜圧縮部材と見なし模型をトラス構造にモデル化して計算することができると考えられる。クラック進展状況の代表例を図5に

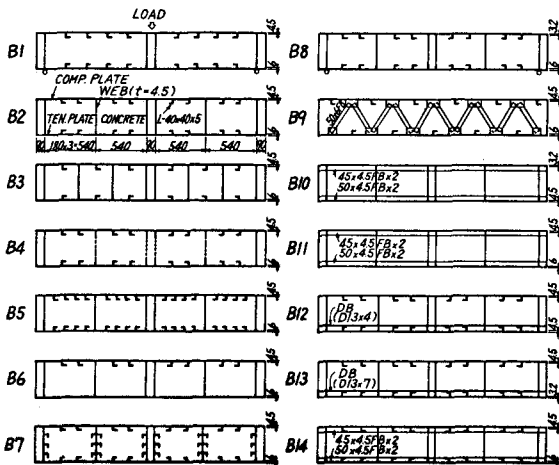


図2. 実験模型

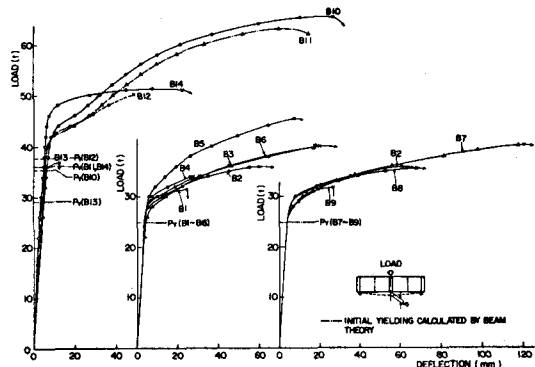


図3. 荷重-たわみの関係

示す。サンドイッチ式複合構造物の崩壊状態は図6のようにモデル化することゝができ、崩壊荷重は同図(c)のcritical section (A-A)における力の釣合いおよびコンクリートの圧壊条件から次のように求められる。

$$G_c = (2b_1b_2 - f_c + \sqrt{(2b_1b_2 - f_c)^2 - 4b_1^2(b_2^2 - f_c^2)}) / 2b_1 \quad (1)$$

$$C = (G_c A_c - G_u A_u) / B G_c \quad (2) \quad \gamma_c = \sqrt{f_c^2 - f_c G_c} \quad (3)$$

$$P = 2F = 2(G_c A_c - G_u A_u) \sqrt{f_c^2 - f_c G_c} / G_c \quad (4)$$

ここに、 $f_c$ : コンクリートの圧縮強度

$A_c, A_u$ : 引張側および圧縮側鋼板の断面積

$B, d$ : 梁の幅および深さ

$C$ : コンクリートのアーチ頂部の深さ

$G_u$ : 圧縮側鋼板の応力 ( $G_u$ : 鋼板の降伏応力、但し座屈時は  $G_u = 0$ )

$G_c$ : 引張側鋼板の応力 ( $G_c$ : 鋼板の引張破断強度)

$G_c, \gamma_c$ : コンクリートの圧縮および剪断応力

$b_1 = G_u A_u d / (G_c A_c - G_u A_u), \quad b_2 = (G_c A_c - G_u A_u) / 2Bd$

(4)式を用いて実験模型の崩壊強度と解析した結果を表1に示す。

4. 結論 (1) サンドイッチ式複合構造では、コンクリートにクラックが生じて引張側鋼板が降伏するまで、荷重-たわみの関係はほぼ直線的であり、同時に再現性がある。

(2) さらに、構造要素を適当に選ぶことにより最終強度に至るまでの変形能力および吸収エネルギーを非常に大きくすることが可能である。また、コンクリートはアーチ効果により大きな剪断力を負担する。

(3) ウェブはコンクリートのクラックアレスタとしての役目を果し、ずれ止めは鋼板とコンクリートの合成ならびに圧縮側鋼板の座屈強度を高める。

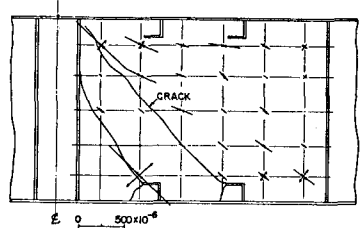
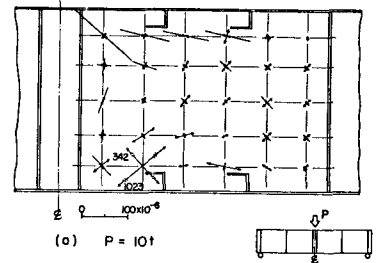
(4) 圧縮側鋼板の曲げ剛性が高いと、鋼板は崩壊に至るまでコンクリートの圧壊を阻止し軸圧縮力と分担するため変形能力および吸収エネルギーが大幅に向上する。

(5) 本研究で展開した解析法による最終強度の計算値は実験値と非常によく一致する。

なお、本報告ではサンドイッチ式複合構造梁に曲げモーメントと剪断力が負荷される場合を対象に述べたが、この他にも梁に剪断力、純曲げモーメント、あるいは繰返し荷重が負荷される場合についても模型実験を実施しており、この構造様式はこれらの荷重下においても最終強度、変形能力ならびに吸収エネルギーが大きなことを確認した。さらに、鋼板とコンクリートのずれおよびコンクリートのクラックなども考慮した有限要素法による高精度解析と実施中である。最後に、研究と進めるにあたり、貴重な助言をいただいた神戸大学藤井助教様にお礼申し上げます。

参考文献: (1) 日本船舶振興協会大型浮体式海洋構造物の調査研究事業報告書、昭51・3

(2) 柳原、松石、竹下他; 鋼板とコンクリートから構成されるサンドイッチ式複合構造物の強度に関する研究(第1報)、日本造船学会論文集、才141号、昭52・5



(b)  $P = 10t$   
図4 コンクリートの主軸 (B2)

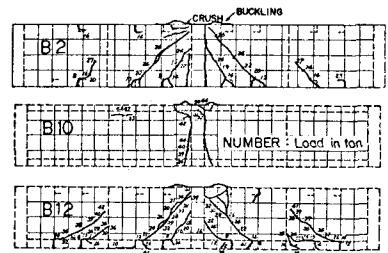


図5 クラック進展状況

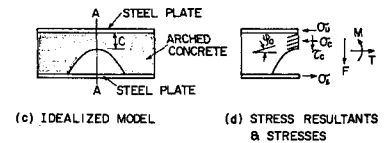
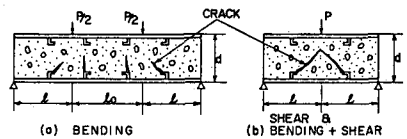


図6 崩壊時のモデル化

表1 崩壊強度

| LOAD | MODEL | EXP. $P_u$ | CAL. $P_u$ | EXP. $E_{AB}$ |
|------|-------|------------|------------|---------------|
| B1   | 31.4  | 40.6       | 0.77       |               |
| B2   | 36.0  | +          | 0.89       |               |
| B3   | 40.1  | +          | 0.99       |               |
| B4   | 33.7  | +          | 0.83       |               |
| B5   | 45.4  | +          | 1.12       |               |
| B6   | 40.0  | +          | 0.99       |               |
| B7   | 40.3  | +          | 0.99       |               |
| B8   | 35.6  | 40.1       | 0.89       |               |
| B9   | 31.7  | 40.6       | 0.78       |               |
| B10  | 65.1  | 61.4       | 1.06       |               |
| B11  | 63.0  | 61.8       | 1.02       |               |
| B12  | 50.2  | 57.6       | 0.87       |               |
| B13  | 36.7  | 49.6       | 0.74       |               |
| B14  | 51.7  | 61.8       | 0.84       |               |

M+S\*: COMBINED SHEAR AND BENDING  
RATIO: RATIO OF EXPERIMENTAL ULTIMATE STRENGTH TO CALCULATED ONE