

V-40

T型せん断補強材を有するオープンサンドイッチ構造の解析的研究

北海道大学大学院 学生員 中井 勝彦

北海道大学工学部 正 員 古内 仁

北海道大学工学部 正 員 上田 多門

北海道大学工学部 正 員 角田與史雄

1. はじめに

近年、高強度、水密性、高靱性などの特徴を合わせ持つサンドイッチ構造を、海洋構造物や地中構造物に適用しようとする試みが活発に行われている。特に、外殻鋼板を片面だけに有するオープンサンドイッチ構造は、両面に有するサンドイッチ構造と比較して、スラブのような平面的構造物において打設が容易であり、鋼板を構造物の内面に位置させれば外部の空気や水の出入りがない状況となるので、腐食に対する特別の配慮は不要となると考えられる。しかし、そのオープンサンドイッチ構造を含むサンドイッチ構造物は、せん断補強鋼材の種類や配置が鉄筋コンクリートと異なるため、そのせん断耐荷機構は明らかにされているとは言えない。そこで本研究において、比較的単純な構造でせん断補強効果が高いと考えられるT型のせん断補強鋼材（T型ウェブ）を部材軸方向に有するオープンサンドイッチ構造はりを用有限要素解析（以下、FEM解析と呼ぶ）し、実験値との比較を行った。

2. 実験供試体

本研究で用いた実験供試体はすべて図1に示すように、せん断補強鋼材としてT型ウェブを部材軸方向に配置したオープンサンドイッチ構造はりである。小沢らが行った実験¹⁾において、供試体Bタイプは比較的部材幅が大きく、部材軸方向にT型ウェブを1列とD25の異形鉄筋を12本配置したもので、コンクリートと外殻鋼板の間での合成効果を得るためにシアコネクターが一定間隔で配されている。また、同寸法の供試体を2体作製し、B-1タイプはコンクリート側から、B-2タイプは外殻鋼板側から載荷する実験を行っている。次に秋山らが行った実験²⁾において、Eタイプは、ウェブ部分に円形の空洞を有するT型ウェブを部材軸方向に2列とその両端にダイアフラムを配置したもので、コンクリートと外殻鋼板の間での合成効果を得る意味でBタイプと同様に、フラットバーを部材軸方向、部材軸直角方向の両方向に一定間隔で配置している。これらの供試体に用いられているコンクリート部材と鋼材の材料特性値を表1に示す。

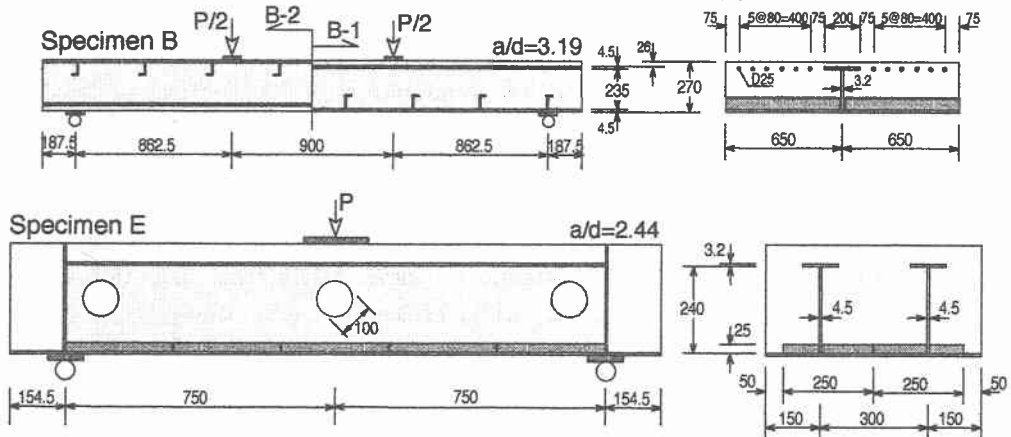


図1 供試体概要図

An Analytical Study on Open-Sandwich Member with T-shaped Shear Reinforcement
by Katsuhiko NAKAI, Hitoshi FURUUCHI, Tamon UEDA and Yoshio KAKUTA

3. 有限要素解析

本研究で用いた有限要素解析プログラム「WCOMR」は、鉄筋コンクリート壁部材の解析のために開発されたものであるが、サンドイッチはり部材用に改良されたプログラム³⁾を用いている。本解析において、要素の種類は大きく3つに分けられる。鉄筋コンクリート部材に適用さ

表1 材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 (MPa)	鋼 材			
		種 類	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
B-1	30.3	鉄筋(D25)	343.0	-	176.4
		上下フランジ (4.5mm)	372.4	441.0	205.8
B-2	29.2	ウェブ(3.12mm)	274.4	421.4	205.8
E	33.3	下フランジ/ ウェブ(4.5mm)	238.1	340.1	-
		上フランジ(3.2mm)	299.9	430.2	-

れるRC要素、外殻鋼板・T型ウェブ・ダイヤフラムに適用される2次元弾塑性要素、上下フランジとコンクリート・ダイヤフラムとコンクリートの境界面においてすべりを考慮するための接合要素である。RC要素は、鉄筋を鉄筋比として考慮し、ひび割れの影響を平均的に捉え、連続体に置き換えられるよう平均応力-平均ひずみ関係を採用した分散ひび割れモデルを用いている。また、載荷方法は、はり供試体に直接強制変位を与えている。図2に解析に用いた供試体の要素分割を示す。

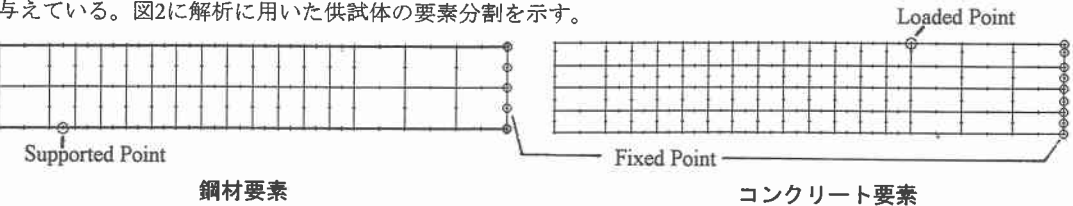


図2 要素分割(B-1)

4. 実験結果および解析結果

4.1 実験結果

実験結果から得られた終局耐力と破壊モードと、解析結果についてまとめたものを表2に示す。また、曲げ耐力の計算値と、土木学会が提案しているせん断耐力式⁴⁾(JSCE式)に基づいた計算値も併せて示す。せん断破壊したB-1、B-2タイプに着目すると、FEM解析は実験値より耐力をやや

表2 耐力と破壊モード

供試体	実験値 (kN)	FEM解析値 (kN)	JSCE式 (kN)	曲げ耐力 (kN)	破壊モード
B-1	852	872	691	1284	せん断破壊
B-2	833	977	606	1360	せん断破壊
E	1029	982	1265	*936	曲げ引張破壊

*ひずみ硬化考慮

高く評価しているが、JSCE式に基づいた計算値はかなり低く評価している。曲げ破壊したEタイプに着目すると、FEM解析による計算値とひずみ硬化を考慮した曲げ耐力計算値とほぼ一致している。実験結果によると、B-1タイプは斜めひび割れ発生直後、せん断スパン中間付近において上フランジが局部的に座屈し始めている。その結果圧縮部のコンクリートが剥離しているが、その後破壊に至った主な要因は、支点付近におけるウェブの降伏と載荷点付近におけるコンクリートの圧壊によるものである。B-2タイプは斜めひび割れ発生後、載荷点付近からウェブの降伏が始まり、せん断スパン全域に広がって破壊に至っている。これはウェブの降伏により破壊したと言える。Eタイプについては、曲げ引張破壊を起こしており、破壊時には下フランジはひずみ硬化域に達している。

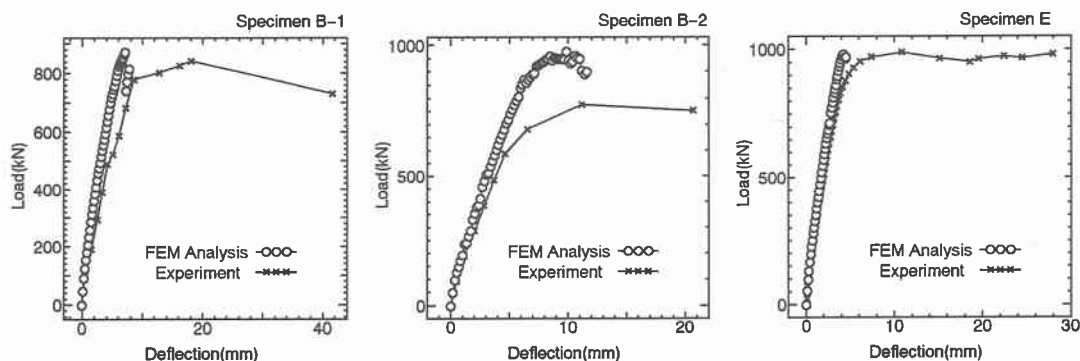


図3 荷重－変位曲線

4.2 解析結果

各供試体についてFEM解析によって得られた解析結果と実験結果との比較を行うが、Eタイプについては鹿島建設㈱技術研究所よりいただいたデータ（未公開資料）をもとに荷重－変位曲線のみ比較を行う。まず、各供試体の載荷点における荷重－変位曲線を図3に示す。すべての供試体においておおよそ初期剛性は一致していると言える。B-1、Eタイプにおいて解析結果は、終局耐力は概ね一致しているが、最大荷重以降の靱性的な状態については把握できていない。逆にB-2タイプは耐力には大きな差が見られるが、比較的靱性的な傾向は把握できていると考えられる。次に、ウェブ部分において実験では降伏している位置での荷重－主ひずみ曲線を図4に示す。B-1タイプにおいて、荷重500MPa付近で解析結果には剛性の低下が見られ、斜めひび割れ発生荷重を捉えているが、その後実験結果と解析結果に剛性の差が見られるのは、上フランジの局部屈曲の影響が出ていると考えられる。B-2タイプについては荷重－変位曲線と同様、耐力には差がでているが初期剛性や降伏状態に至る傾向は類似している。図5に示すのは、上下フランジの荷重－ひずみ曲線である。B-1タイプにおいては、上下フランジとも実験値と解析値が概ね一致しているが、初期の状態から両者に若干の違いが見られる。B-2タイプについては、ごく初期の状態で一致しているが徐々に両者の差が生じた。このFEM解析では、上下フランジとコンクリートの間に接合要素を取り入れており、解析結果と実験結果の違いに接合要素（RC要素のひび割れ面におけるせん断力伝達モデルを改良したもの）の影響が出ていると考えられる。B-2タイプは、下フランジが断面の引張側に配置されており、また下フランジ幅が供試体断面幅よりもかなり小さいことから、ひび割れ発生後におけるコンクリートとの力の伝達はやや複雑になっているようである。はりの耐力がウェブの降伏で決まるとすれば、T型ウェブのフランジ部におけるコンクリートとの付着特性と、コンクリートのひび割れに与える影響を検討する必要がある。

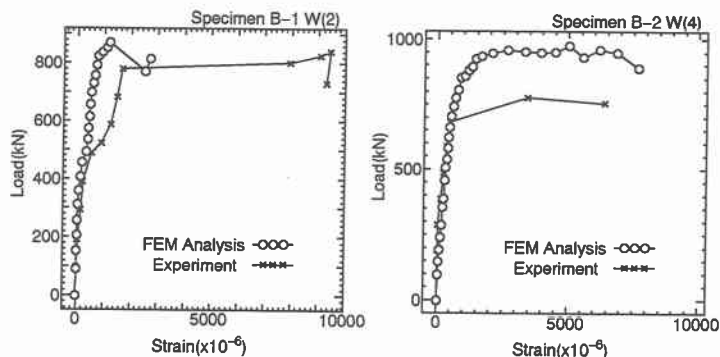


図4 ウェブの荷重－主ひずみ曲線

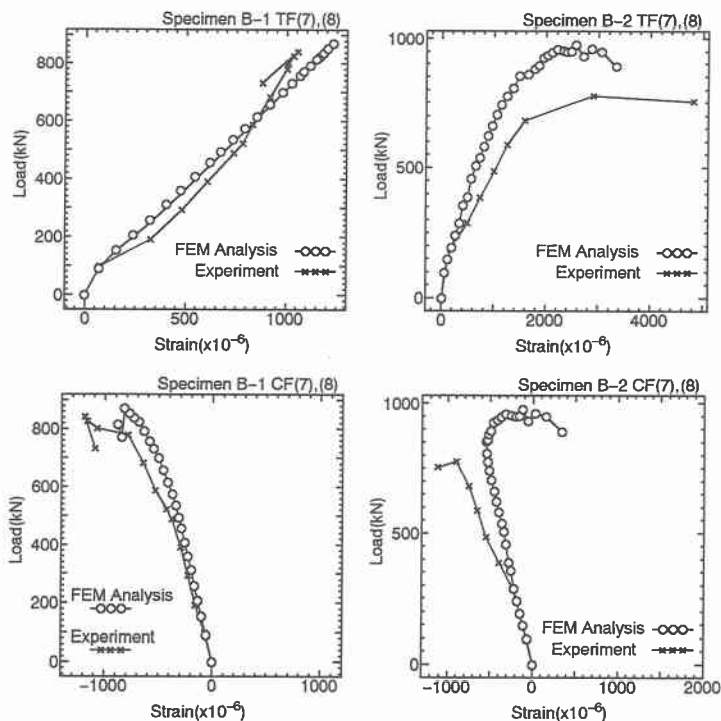


図5 上下フランジの荷重-ひずみ曲線

5. まとめ

- 1) 荷重-変位曲線においてFEM解析と実験結果を比較すると、初期剛性はほぼ一致しているが終局耐力については若干実験値と異なる場合があるので、今後も解析モデルを検討する必要がある。
- 2) FEM解析により実験での終局状態に至るまでの破壊性状を概ね把握することができる。
- 3) 断面の引張側にコンクリート部材幅と大きく異なる幅のフランジを有する場合、幅方向を考慮したコンクリートとフランジの付着特性と、フランジがコンクリートのひび割れに与える影響を評価できるような、接合要素を検討する必要がある。

謝辞

本研究の解析に用いた実験データを提供していただいた東京大学の小沢一雅先生、鹿島建設(株)技術研究所の秋山暉氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 小沢一雅：鋼コンクリート合成構造のせん断耐荷機構、東京大学修士論文、1986年3月
- 2) 秋山暉、小関喜久夫、平和男、佐々木正廣：鋼コンクリート合成サンドイッチ構造部材の強度特性、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、1986
- 3) ナレス パンタラトーン：鉄筋コンクリートはりにおけるせん断抵抗機構の有限要素解析、東京大学博士論文、1991年3月
- 4) 土木学会：鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)、コンクリートライブラリー、第73号、1992年7月