

V-26

オープンサンドイッチ構造におけるT型ウェブ鋼板のせん断補強効果について

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鋼-コンクリートサンドイッチ構造の一種で、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を、橋梁の合成床版のような平面的構造物や護岸用ケーソン、沈埋トンネルのような海洋構造物に適用しようとする試みが活発に行われている。

しかし、これらのオープンサンドイッチ構造に関する既往の研究は数少なく、スタッド、トラス型ジベル、あるいは連続したウェブ鋼板等のせん断補強材有しているため、それらのせん断補強効果は、通常の鉄筋コンクリート部材とは異なると予想される。そこで本研究では、この構造の基礎的な研究として、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（以下、T型ウェブと呼ぶことにする。）を部材軸方向に連続的に有するオープンサンドイッチ構造はりを対象とし、曲げせん断載荷実験と非線形有限要素解析の両面から、せん断耐荷機構を明らかにすることを目的としている。

2. 実験供試体

図1に示すように、本研究で用いている実験供試体は、せん断補強鋼材としてT型ウェブを部材軸方向に1列配したオープンサンドイッチ構造はりである。表1に示すように、T型ウェブの寸法の違いがせん断補強効果およびせん断耐力に及ぼす影響を調べるため、計5体用意した。その内容は、ウェブ鋼板の厚さを3.2、4.5、6.0mmと変化させた供試体の3体、ウェブ鋼板の高さを15.14、18.14cm（上フランジ上のコンクリートのかぶり厚はそれぞれ、6.0、3.0cm）と変化させた供試体の2体、上フランジの幅を3.0、7.0cmと変化させた供試体の2体である。いずれの供試体についても、部材幅15cm、部材高さ25cm、スパン120cmで、せん断スパン-有効高さ比（ a/d ）は2.0で統一されている。また、鋼板とコンクリートとの合成効果を高めるために、下フランジ上面には $30 \times 30 \times t_3$ mmのシアコネクタを10cm間隔で配している。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も、併せて表1に示す。

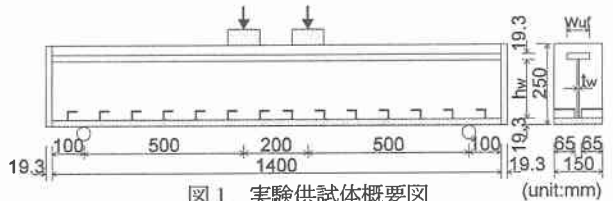


図1 実験供試体概要図

表1 実験供試体諸元

specimen	t_w (mm)	h_w (mm)	w_{uf} (mm)	f_{wy} (MPa)	f_{sy} (MPa)	f'_c (MPa)
H327	3.2	181.4	70	250	585	36.0
H457	4.5	181.4	70	249	585	34.3
H607	6.0	181.4	70	249	585	33.5
H453	4.5	181.4	30	249	585	33.9
L457	4.5	151.4	70	249	585	36.9

t_w : thickness of web plate f_{wy} : yield strength of web plate
 h_w : height of web plate f'_c : compressive strength of concrete
 w_{uf} : width of upper flange f_{sy} : yield strength of flange

Shear Resisting Mechanism of T-shaped Web Plate in Open-Sandwich Member

by Katsuhiko NAKAI, Hitoshi FURUUCHI, Tamon UEDA, and Yoshio KAKUTA

3. 解析概要

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¹⁾を用いている。本解析において、要素の種類は、コンクリート要素、上下フランジ鋼板・ウェブ鋼板・ダイヤフラムに適用される鋼材要素、上下フランジ鋼板とコンクリート・ダイヤフラムとコンクリートの境界面において、応力伝達を担うと同時にすべりを考慮する接合要素の大きく3つに分けられる。コンクリート要素は、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。接合要素には、園田らの研究²⁾から、コンクリートの拘束圧 σ_{con} と最大せん断応力 τ_{max} の関係を次式で定義している。

$$\tau_{max} = 0.60\sigma_{con}$$

また、解析に用いた要素分割図を図2に示す。荷重方法は荷重板を介してはり供試体に強制変位を与えている。また、図2中の太線は接合要素の分布を表している。

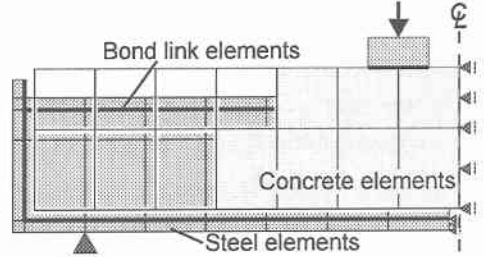


図2 要素分割図

4. 実験結果と解析結果の比較

図3のひびわれ図に示すように、すべての実験供試体において、シアコネクタから発生したひびわれ間に形成されたコンクリート圧縮斜材が荷重点付近及び支点付近で圧壊し、終局を迎えている。

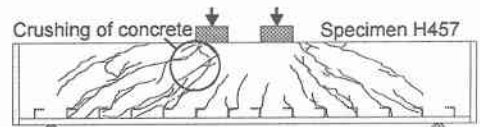


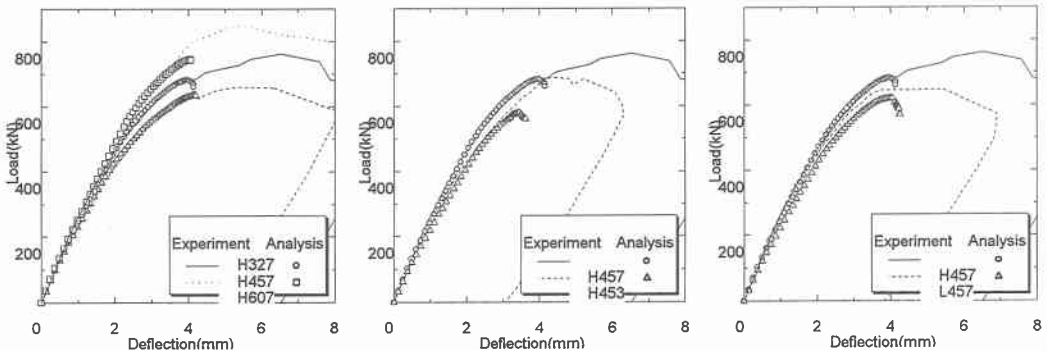
図3 ひび割れ図

それぞれの供試体について実験と解析から得られた結果をもとに、終局耐力、及び計算による曲げ耐力をまとめたものを表2に示す。どの供試体についても、解析による耐力は実験値を過小評価している。

表2 破壊耐力および曲げ耐力

Specimen	Experiment (kN)	Analysis (kN)	Flexural capacity (kN)
H327	660	636	921
H457	762	683	917
H607	851	786	922
H453	688	581	664
L457	674	620	750

図4は、各荷重段階毎に計測したスパン中央でのたわみを、ウェブ鋼板の厚さ(a)、上フランジ鋼板の幅(b)、ウェブ鋼板の高さ(c)について、実験結果と解析結果の比較を行ったものである。すべての供試体を通して実験と解析結果の比較を行うと、初期剛性



(a) ウェブ鋼板の厚さによる比較

(b) 上フランジ鋼板の幅による比較

(c) ウェブ鋼板の高さによる比較

図4 荷重-たわみ曲線

はほぼ一致しているが、載荷点及び支点付近のコンクリートの圧縮軟化により、剛性が急激に低下し始める付近から終局耐力に至るまでに実験値と解析値に差が見られる。また、実験結果から、ウエブ鋼板の厚さ及び高さ、上フランジ鋼板の幅が大きいほど終局耐力は大きく、靱性が大きいと言える。

5. せん断耐荷性状

前節において、ウエブ鋼板の厚さ及び高さ、上フランジ鋼板の幅の差異が、変形状やせん断耐力に影響を及ぼすことが、実験と有限要素解析の両面から明らかになった。そこで、せん断補強鋼材としてのT型ウエブの幾何的寸法の違いが、はり全体としての耐荷性状に及ぼす影響を有限要素解析結果から検討する。

5.1 せん断耐荷力の構成要素

せん断耐荷力の構成要素としては、コンクリートの分担せん断力 (V_c) と鋼材の分担せん断力 (V_s) に大別され、全体としてのせん断耐荷力 (V_{total}) は次式で定義することができる。

$$V_{total} = V_c + V_s \quad (1)$$

また、図5に示すような断面において、コンクリートの分担せん断力 (V_c) は、せん断ひび割れが進展していないせん断ひび割れ上部のコンクリート部分が受け持つせん断力 (V_{ucz}) と、ひび割れ面において骨材の噛み合わせ作用によりコンクリートが受け持つせん断力 (V_{dcz}) に二分され、鋼材の分担せん断力 (V_s) は、上フランジ鋼板が受け持つせん断力 (V_{uf})、ウエブ鋼板が受け持つせん断力 (V_{web})、下フランジ鋼板が受け持つせん断力 (V_{lf}) に細分される。よって式(1)は次式で表せる。

$$V_{total} = V_{ucz} + V_{dcz} + V_{uf} + V_{web} + V_{lf} \quad (2)$$

5.2 せん断力の釣り合いを考えるひび割れ断面の決定

本研究において、上述の分担せん断力は、各部材が有するガウスポイントにおけるせん断応力に、各々が受け持つ領域面積を乗ずることにより求めることができる。そこで、せん断力の釣り合いを考えるひび割れ断面を決定するに当たって、有限要素解析結果から次3つの条件を考慮している。

1. 本研究におけるすべての実験供試体は、載荷点付近のコンクリートの圧壊により終局に至っていることから、終局までにコンクリートが軟化しているガウスポイントを含む断面を選ぶ。
2. 上下フランジ鋼板の分担せん断力の大きい断面を選ぶ。
3. ひび割れを有するガウスポイントをできるだけ滑らかな曲線で連結する。

図6は、解析供試体 H457 の最大荷重時におけるひび割れ図を示している。また、●点はコンクリートの軟化が認められた点を表しており、太線はせん断力の釣り合いを考えるひび割れ断面を表している。

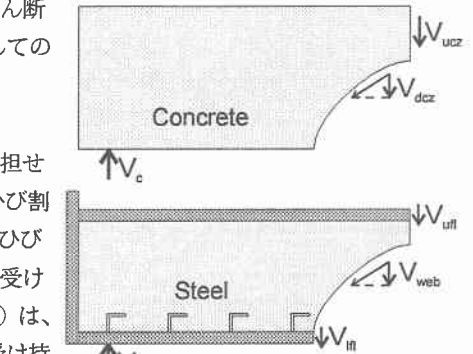


図5 せん断ひび割れ面における力の釣り合い

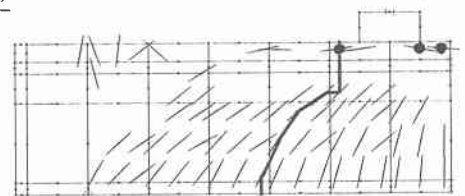


図6 せん断力の釣り合いを考えるひび割れ断面

5.3 各部材の分担せん断力

図7は、解析供試体 H457 について、上述の方法で決定した断面における各部材の分担せん断力と作用せん断力 (V_{total}) の推移を表している。通常のせん断補強筋を有する鉄筋コンクリートはりとは異なり、ウエブ鋼板はせん断補強鋼材として最初からせん断力をかなり分担しており、作用せん断力 (V_{total}) が増加し、

斜めひび割れが進展するにつれて、ウェブ鋼板のせん断力分担が増加している。

図8は、ウェブ鋼板の分担せん断力と作用せん断力 (V_{total}) の関係に着目し、ウェブ鋼板の厚さ(a)、上フランジ鋼板の幅(b)、ウェブ鋼板の高さ(c)の違いについて比較したものである。ウェブ鋼板の厚さ(a)について考察すると、ある一定の作用せん断力に着目すると、ウェブの厚さが厚いほど分担せん断力が大きいが、厚さにはほとんど比例しないことがわかる。本研究における供試体の終局耐力はすべて、コンクリートの圧壊に起因するためであり、ウェブ鋼板の分担せん断力がほとんど厚さに影響を受けていないことから、ウェブ鋼板が厚いほど断面における応力状態は平均的に見て小さいと言える。上フランジ鋼板の幅(b)について考察すると、一定の作用せん断力に着目すると、上フランジ鋼板の幅が大きいくほど、ウェブ鋼板の分担せん断力が大きいく。これは、上フランジ鋼板はウェブ鋼板への応力伝達を担うアンカーとしての役割があると考えられる。ウェブ鋼板の高さ(c)について考察すると、ある一定の作用せん断力に対してはほとんど差異は見られないが、ウェブ鋼板の有効断面積を考慮すると、ウェブ鋼板の有効高さが高いほど断面における応力状態は平均的に見て小さいと言える。

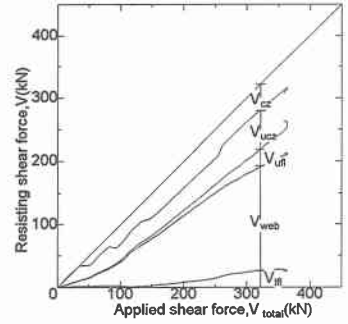
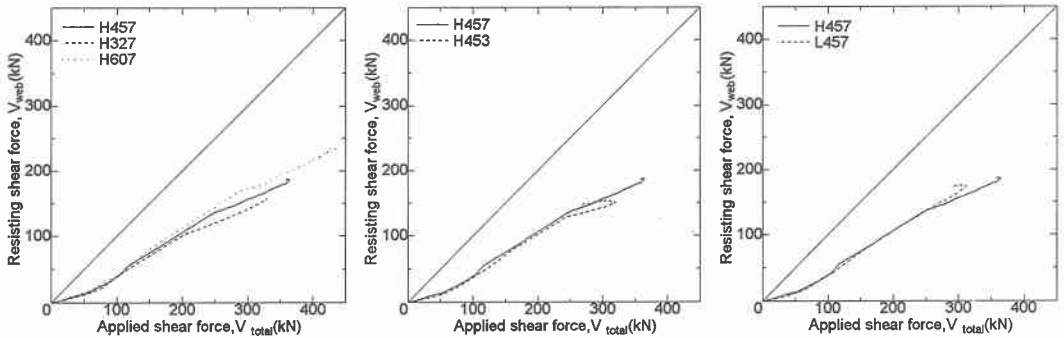


図7 作用せん断力 (V_{total}) と各部材の分担せん断力の関係<H457>



(a) ウェブ鋼板の厚さによる比較 (b) 上フランジ鋼板の幅による比較 (c) ウェブ鋼板の高さによる比較
図8 作用せん断力 (V_{total}) とウェブ鋼板の分担せん断力 (V_{web}) の関係

5. まとめ

- 1) 有限要素解析により破壊性状及び変形性状を概ね把握することができ、実験と解析の両面からT型ウェブ鋼板の寸法の違いによるせん断補強効果の差異が認められた。
- 2) 今回の有限要素解析結果から、ウェブ鋼板の厚さ及び高さ、上フランジ鋼板の幅が大きいくほど終局耐力が大きくなるが、ある一定の作用せん断力に対するウェブ鋼板の分担せん断力にはあまり差異は見られない。

謝辞

本実験を進めるに当たり、材料の手配ならびに提供して頂いた新日本製鐵の広沢規行氏、また、実験に際して多大なる御助力を頂いた北海道大学・木村勉技官、同大学構造工学講座ならびにコンクリート工学講座の教職員、学生の方々に、この場をお借りして深く感謝申し上げます。

- 参考文献 1) 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
- 2) 園田ら：鋼板・コンクリート合成構造の付着特性に関する基礎的研究、土木学会第46回年次学術講演会概要集、1992年9月、I-153