

V-5

鋼コンクリートサンドイッチはり部材のせん断耐力について

北海道大学工学部

田隅 康之

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

サンドイッチ構造とは内部に鉄筋を使わずにコンクリートを上下から鋼板で挟み込んだ構造である。この構造物は靱性・止水性がよく、海洋構造物への適用など、最近脚光を浴びている。それゆえに最近多く研究もなされている¹⁾。しかし、せん断抵抗機構が明らかにされているとは言えない。そこで今回は、載荷実験を行い、せん断スパン内のコンクリート、せん断補強鋼材、引張・圧縮補強鋼材の歪性状を観察し、併せて、サンドイッチ構造用に改良された有限要素法のパログラムWCOMR²⁾を用いその解析結果を分析し、せん断抵抗機構の解明を行うことを目的とした。

2. 実験の方法と結果

表1に示す4つの供試体に2点集中荷重を静的に与え、破壊実験を行った。支点はローラー支点を用いた。各供試体とも全長183cm、高さ15cm、タイプレートの厚さ1.6cm、フルウェブの厚さ0.8cm、引張・圧縮鋼板の厚さ1.2cm、引張鉄筋比8%である。実験パラメーターはウェブの幅と、せん断補強鋼材のタイプ(タイプレート・フルウェブ)である。タイプレート・フルウェブはともに部材軸を含む平面内に配置されているが、フルウェブは軸方向全般に設置される1枚のものであり、タイプレートは一定の間隔を置いて連続的に設置されたものである。また、これらを両端で外殻鋼板に溶接した。さらに、コンクリートは、普通ポルトランドセメント及び最大骨材寸法25mmの天然骨材を用い、試験材令8日で目標強度を180kgf/cm²、また目標スランプ15cmとした。そして、フルウェブのものは2回に分けて打設した。又、いずれの供試体もせん断破壊するように設計している。なお、ゲージの張り付け位置は図1に示す。

表1 供試体の説明

供試体	幅(cm)	せん断補強鋼材のタイプ	せん断鉄筋比(%)
TP15	15.0	タイプレート	5.33
TP30	30.0	タイプレート	2.67
TP60	60.0	タイプレート	1.33
FW60	60.0	フルウェブ	1.33

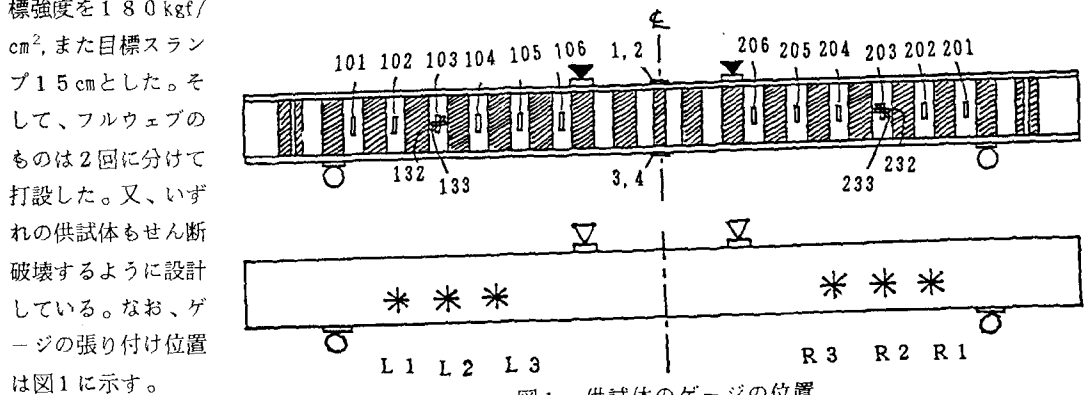


図1 供試体のゲージの位置

Ultimate Shear Strength of Sandwich Concrete-Steel Composite Beams
by Yasuyuki Tasumi, Tamon Ueda and Yoshio Nakuta

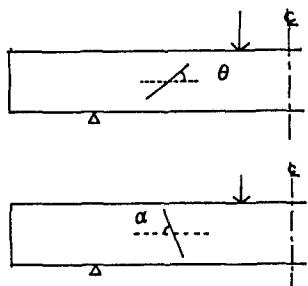


図2 主ひずみの角度の取り方

表2 実験結果

供試体	圧縮強度 (kgf/cm ²)	破壊モード	最大耐力 (tf)	せん断補強鋼 板の降伏数	圧縮・引張鋼 板の降伏箇所
TP15	153	圧縮破壊	46.0	2	2. 3. 4
TP30	167	せん断破壊	77.0	2	2. 3. 4
TP60	143	せん断破壊	117.8	7	4
FW60	139/104	—	(148.4)	9	1. 3. 4

実験結果を表2・3に示す。せん断補強鋼材がフルウェブである供試体FW60には破壊モードが出ていないが、供試体の変形が大きすぎ、それ以上荷重がかけられない状態にあったからである。ゆえに最大耐力でも()が付いている。

表3 せん断補強鋼材の降伏箇所

	101	102	103	104	105	106	201	202	203	204	205	206
TP15	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N
TP30	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N
TP60	N	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	N
FW60	N	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	N

Y:降伏 N:降伏せず

次に、せん断補強鋼板を見ると、供試体TP15・TP30ではほとんど降伏していないが、TP60・FW60ではかなりの箇所で降伏している。これはせん断鉄筋比の差が出ているのではないかと考えられる。引き続き、引張・圧縮鋼板を見てみると、TP60をのぞき引張鋼板は2ヶ所とも降伏していて圧縮鋼板はTP15についてははっきりと言えないが1ヶ所降伏している。そしてTP60では引張鋼板では1ヶ所降伏し、圧縮鋼板では降伏しなかった。実験のパラメーターの1つである幅であるが、これはせん断鉄筋比をパラメ

コンクリートの主ひずみの角度 FW60-R1

コンクリートの主ひずみの角度 TP30-L1

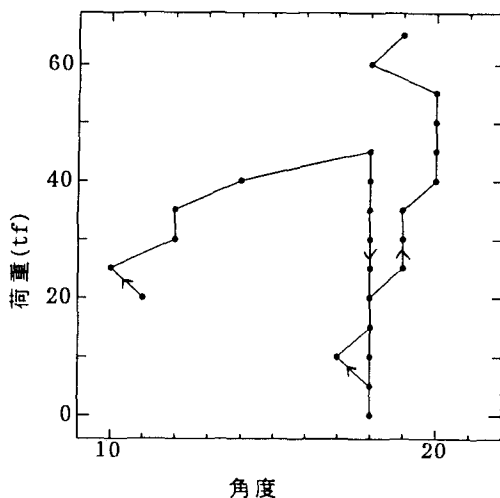
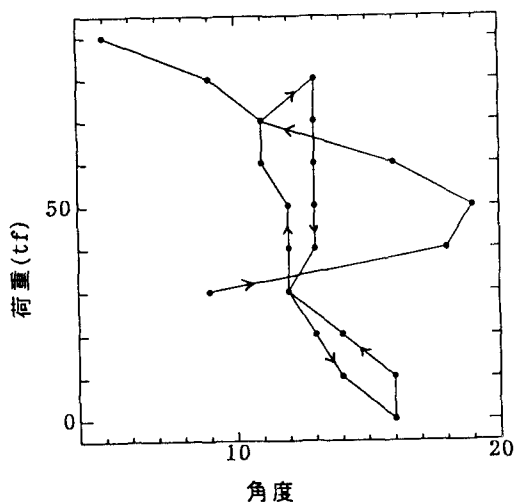
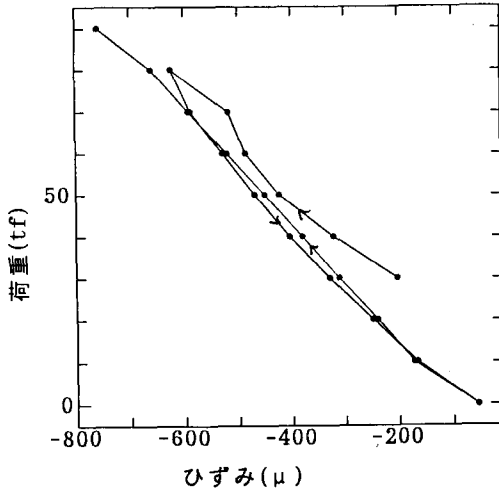


図3 コンクリートの主ひずみの角度

コンクリートの主ひずみ FW60-R1



コンクリートの主ひずみ TP30-L1

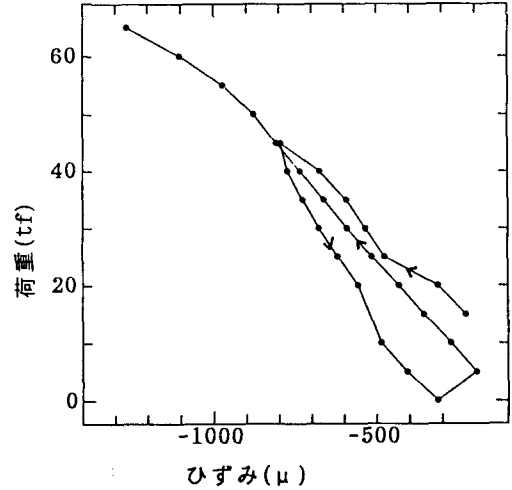


図4 コンクリートの主ひずみ

ーターにしているとも考えられる。つまり、タイプレートの3体で考えると、幅が広くなるとタイプレートにかかるせん断応力は増加し引張鋼板にかかる曲げ応力は減少する。よって、実験結果を見ても幅と耐力は単調な比例関係ではないことは明らかである。

次に、コンクリートの主ひずみであるが(図2-4)、角度 θ に注目してみるとフルウェーブ・タイプレートともに 10° から 20° ぐらいの比較的小さい角度ででているが両者に大きな違いはみられなかった。そして、主ひずみの大きさでも特に違いはみられなかった。

また、フルウェーブの主ひずみの角度 α において(図5)、 55° から 65° ぐらいの値ででている。さらに、タイプレートとフルウェーブの違いであるが、TP60の場合、中のタイプレートが降伏してしまうとそ

フルウェーブの主ひずみの角度 FW60-102

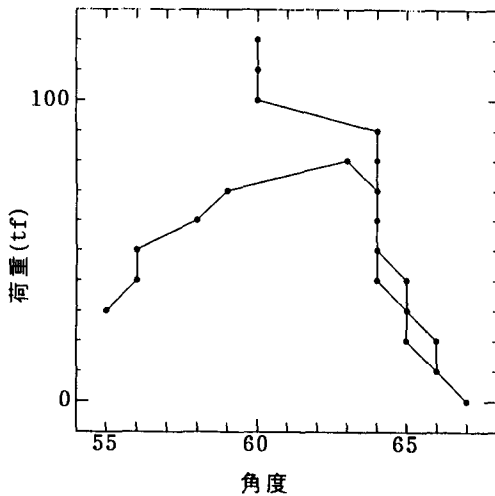


図5 フルウェーブの主ひずみの角度

せん断補強鋼材のひずみ

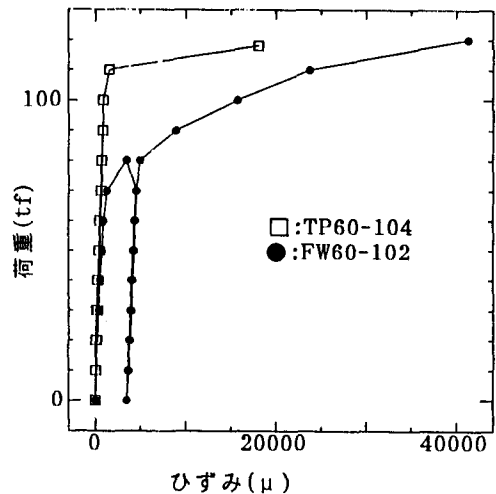


図6 せん断補強鋼材の主ひずみ

ここからはあまり耐力は伸びないが、FW60の場合、フルウェブが降伏した後からもかなり耐力が伸びる。つまり、せん断補強鋼板がタイプレートの場合、フルウェブと比べるとタイプレートが降伏してしまうとその後の耐力はあまり期待できないのではないと思われる(図6)。

3. 有限要素解析

有限要素解析において、今回使った非線形有限要素法解析には鉄筋コンクリート壁構造の解析用に開発されたプログラムのWCOMR³⁾をサンドイッチはり部材用に改良したプログラム²⁾を用いた。荷重は、強

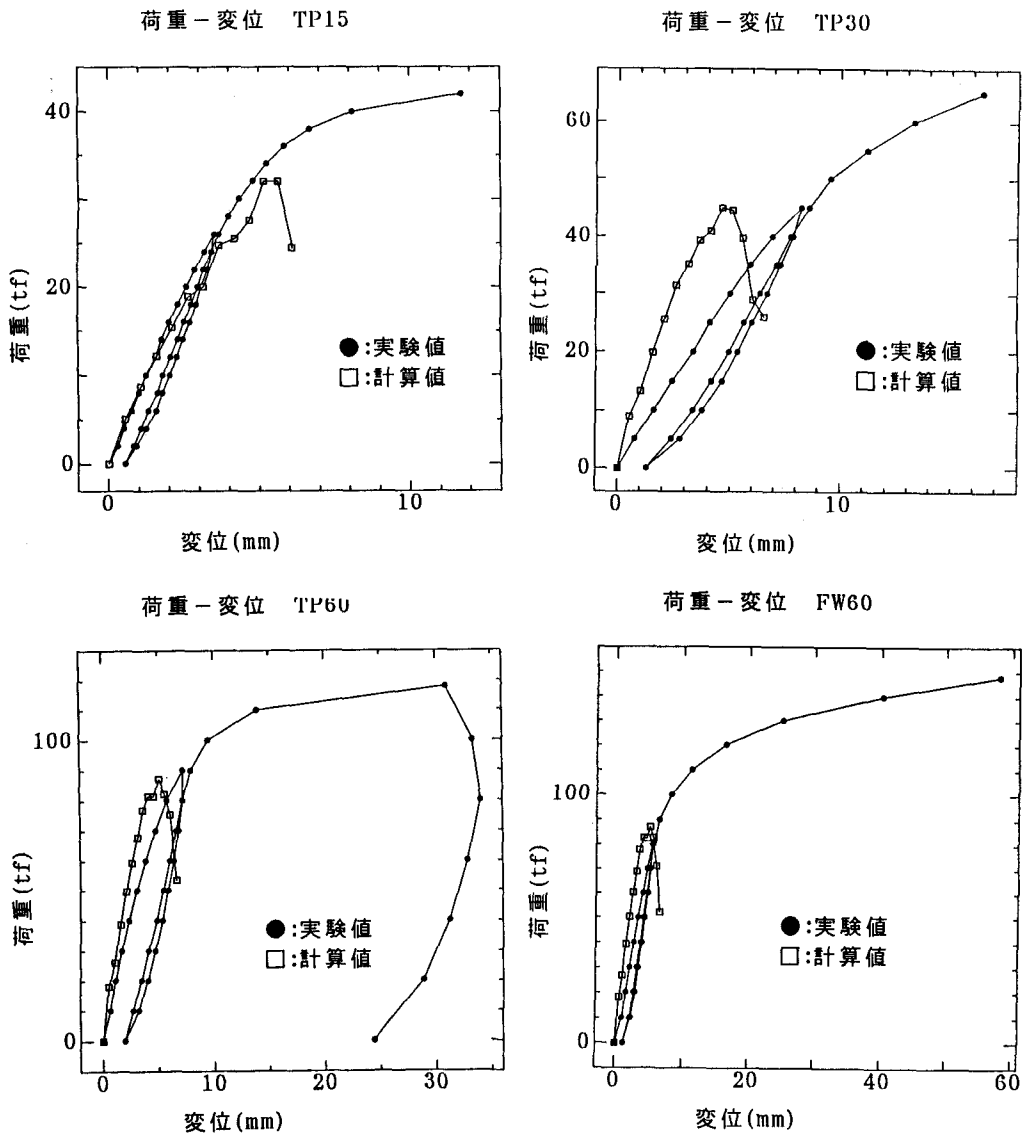


図7 荷重-変位 曲線

制変位を載荷点に与えることにより解析を行った。解析上で引張・圧縮の鋼板の要素においては鉄筋比をX軸・Y軸ともに100%にして入力した。また、せん断補強鋼材に関してはタイププレートにおいてはY軸においてのみせん断鉄筋比を入力しX軸の鉄筋比は0%とし、フルウェブに関してはX軸・Y軸ともにせん断鉄筋比を入力した。4体の荷重-変位曲線を図7に図示する。最大耐力以前のグラフの傾きは概ね一致しているが最大耐力以降の変位はかなり小さくなっている。解析上の仮定などを更に検討する必要がある。

4. 考察

ここではせん断耐力を簡便に推定する方法を考える。実験および有限要素解析の結果より棒部材としてのせん断耐力は、次のように表現されるとする。

せん断補強鋼材にある場合は

$$V_{u0} = A_w K f_{wy} + V_c \tag{1}$$

もしくは、

$$V_{u1} = f_{vc} b w d \tag{2}$$

のうち小さいほうとする。ここに、

V_c : 終局時にいわゆるトラス機構以外で受け持たれるせん断力

A_w : 区間sにおけるせん断補強材の総断面積

f_{wcd} : せん断補強鋼材の降伏強度で、4000kgf/cm²以下とする。

$A_w K = A_w \sin \alpha (\cot \theta + \cot \alpha) (z/s)$ (タイププレートの場合)

$= t_w \sin^2 \alpha (\cot \theta + \cot \alpha) z$ (フルウェブの場合)

$f_{vc} = 4 f'_c{}^{1/2}$

f'_c : コンクリートの圧縮強度

で、単位はkgf/cm²である。

$b w$: 腹部の幅

θ : コンクリートの圧縮斜材と部材軸のなす角度で、 $\cot^{-1}(s/d)$ もしくは30°のうち小さい方とする。

t_w : せん断補強鋼材の

厚さ

d : 有効高さ

α : せん断補強鋼材と部材軸とのなす角度

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離

s : せん断補強鋼材と部材軸のなす距離

表4 提案した計算式による結果

供試体	f_{wc}	$A_w(\text{cm}^2)$	$t_w(\text{cm})$	$z(\text{cm})$	$s(\text{cm})$	α	θ	f'_c	$V_{u0} \text{ (tf)}$	$V_{u1} \text{ (tf)}$
TP15	3427	1.28	1.6	13.52	8.0	90	30	167	131.1	10.2
TP30	3427	1.28	1.6	13.52	8.0	90	30	143	131.1	18.9
TP60	3427	1.28	1.6	13.52	8.0	90	30	153	131.1	39.2
FW60	3427	—	0.8	13.52	—	75	30	122	70.6	35.0

表5 実験値と計算値の比較

供試体	幅 (cm)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	実験値 (tf)	計算値(tf)		実験値 WCOMR	V_{u0}	
				WCOMR	計算式		V_{u0}	V_{u1}
TP15	15.0	167	46.0	31.9	20.4	1.44	1.00	1.00
TP30	30.0	143	77.0	45.0	37.9	1.71	0.97	0.82
TP60	60.0	153	117.8	87.0	78.4	1.35	0.63	0.74
FW60	60.0	122	148.4	87.0	70.0	1.70	—	—

V_{u0} : TP15での V_u の値

V_{u0} : 単位幅当たりの V_u を f'_c にあわせて補正した値

V_{u1} : WCOMRで得られた単位幅あたりのせん断耐力を f'_c にあわせて補正した値

なお、 V_c については今のところ算定式がないので安全側をとり $V_c=0$ として計算している。

次に部材幅のせん断耐力に与える影響について考慮する。

$$k_m=1/(b_w/d)^{1/2} \quad (3)$$

k_m :有効幅に対する低減係数

以上の方法で求めた結果を表4に示す。表5に実験値と計算値をまとめた。見比べてみると上記の計算式による値、FEMによる値、実験値の順に大きくなっている。上記の計算式は実験結果を安全側に評価している。

図8に単位幅あたりのせん断耐力と実験値・有限要素解析値と部材幅との関係を示した。部材幅と同時に単位幅あたりのせん断耐力が減少している。図中の曲線は(3)式で表されるものである。

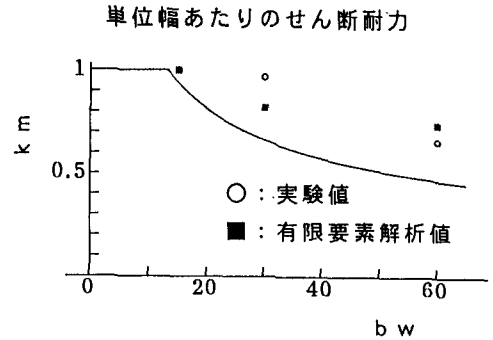


図8 $V_{u0}/V_{u0} \sim b_w$ の関係

5. まとめ

以上のことより次の結論が得られる。

- 1) コンクリートの主ひずみの角度において、ほかのRC梁に比べるとかなり小さくでている。
- 2) 有限要素解析において、最大耐力以前の荷重-変位の関係は概ね一致しているが、最大耐力以降の関係は、これからも検討の余地がある。

謝辞 : 実験計画をたてるに際し、土木学会コンクリート委員会、鋼コンクリートサンドイッチ構造研究小委員会の幹事会のメンバー、特に増井 直樹氏(大林組)、塩谷 俊幸氏(清水建設)から貴重なコメントをいただいた。また、木村 秀雄氏(新日本製鉄)からは実験計画から供試体の設計まで多大な御助力をいただき、上野 満氏(ニッテツ室蘭エンジニアリング)にも供試体製作で御苦労をかけた。また、本実験に際し、高橋 義裕教授(北海学園大学)、古内 仁助手(北海道大学)、木村 勉技官(北海道大学)そして構造工学講座の学生諸君にも御助力をいただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 上田 多門・ナレス パンタラトーン・アヌーア ビン ヤーヤ 「サンドイッチタイプの合成構造部材の終局せん断強度」 第2 会合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集 1989年
- 2) PANTARATORN Nares FINITE ELEMENT ANALYSIS ON SHEAR RESISTING MECHANISM OF RC BEAM 東京大学大学院学位論文 1991年
- 3) SHIN Hyun Mock 繰り返し面内力を受ける鉄筋コンクリート部材の有限要素法解析 東京大学大学院博士論文 1988年