

V-35

## せん断補強鋼材を有する鋼コンクリートサンドイッチ構造のFEM解析

北海道大学工学部 学生員 浅沼 芳雄  
 北海道大学工学部 学生員 今野 克幸  
 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、高韌性などの特徴をもつ鋼コンクリートサンドイッチ構造物が海洋構造物や地中構造物に適用され、脚光をあびている。しかし、そのサンドイッチ構造物のせん断耐荷機構については明らかにされているとはいえない。せん断補強鋼材がない場合、せん断耐荷機構は通常の鉄筋コンクリートと同様にして考慮することができるが、せん断補強鋼材を有する場合には、そのせん断補強鋼材の種類、配置間隔が鉄筋コンクリートと異なるため、せん断耐荷機構を同様にして考慮することができない。そこで、本研究では、実構造物では想定されているが、過去に研究例がほとんどみられない部材軸方向、軸直角方向ともにせん断補強鋼材を有するサンドイッチ構造はりをFEM解析し、実験値との比較を併せて行い、せん断耐荷機構を検討することを試みた。

## 2. 実験供試体

本研究に用いた実験供試体は図1に示されるように、せん断補強鋼材が部材軸方向、軸直角方向に混在して配置されているサンドイッチ構造はりである。図1に示されるように、左スパンは部材軸方向にタイプレート(Tie plate)、軸直角方向にダイヤフラム(Diaphragm)が混在して配置されており、以後、TD部と呼ぶことにする。一方、右スパンは部材軸方向にフルウェブ(Full web)、軸直角方向にタイプレート(Tie plate)が混在して配置されており、FT部と呼ぶこととする。実験に用いた供試体は4体であり、それらの供試体の鋼板厚、コンクリートの圧縮強度( $f'_c$ )、コンクリートのカットの幅は表1に示すとおりである。また、用いられている鋼材の特性値を表2に示す。ただし、供試体No.1は他の供試体(No.2、No.3、No.4)とは鋼材の配置間隔が異なり、TD部ではタイプレートを120mm間隔で配置し、幅を30mmとし、ダイヤフラムの配置間隔は240mmとしている。FT部では部材軸直角方向にタイプレートをスパン内に240mmの間隔で配置している。また、コンクリート-鋼材間で合成作用をもたらせるために、シコネクタをTD部ではダイヤフラムとダイヤフラムの間の中央に、FT部ではタイプレートとタイプレートの間の中央に配置している。

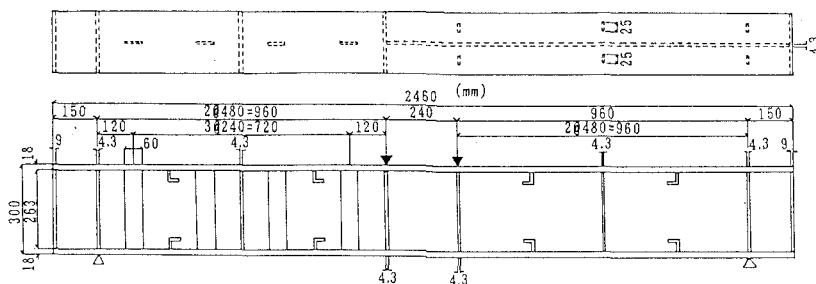


図1 実験供試体(供試体 No.2)

### 3. 有限要素解析

本研究では有限要素解析プログラムとして、WCOMRを用いている。このプログラムはもともと鉄筋コンクリート壁部材の解析のため開発されたプログラムであるが、サンドイッチはり部材用に改良されたプログラムを用いた。本解析では鉄筋コンクリート部材に適用されるRC要素、フランジ、ダイヤフラムに適用される2次元の弾塑性要素、下フランジ-コンクリート間、ダイヤフラム-コンクリート間の境界面において、すべりを考慮するための接合要素を用いている。また、本解析ではダイヤフラムとフランジに囲まれたタイガーレットとコンクリートが混在する部分を鉄筋コンクリート要素とみなして解析を行っている。すなわち、タイガーレットをせん断補強筋比(Y方向鉄筋比)に換算し入力を行っている。この場合、X方向の鉄筋比は入力していない。入力したせん断補強筋比は表3に示すとうりである。また、解析に用いた要素分割を図2に示す。ただし、図2中で、太線は接合要素の存在する部分を示している。接合要素は引張鋼板とコンクリートの間、コンクリートとダイヤフラムの間に入れているが、圧縮鋼板とコンクリートの間には入れていない。これは、圧縮鋼板とコンクリートの間は引張鋼板とコンクリートの間に比べて合成作用が大きく、すべりを考慮する必要がないと考えられるからである<sup>1)</sup>。載荷は図2に示すように、強制変位を与えることによって、制御した。

### 4. 実験結果および解析結果

#### 4. 1 実験結果

実験結果によると、すべての供試体は左ハンド、すなわち、TD部でせん断破壊を起こしていた。そのため、TD部についてのみ、述べることにする。供試体TD1では、まず、ダイヤフラム間に斜めひび割れが発生し、その後、タイガーレットが降伏し、斜めひび割れ間のコンクリートが圧縮破壊を起こし、破壊に至っている。これはコンクリートの圧縮斜材の破壊により破壊したとみなすことができる。供試体TD2とTD3は破壊性状はTD1と類似しているが、コンクリートの圧縮斜材の破壊とタイガーレットの降伏が同時に進行し、破壊に至っている。これはタイガーレットの降伏により、破壊したとみなすことができる。供試体TD4はタイガーレットの降伏は起こらずに、コンクリートの圧縮斜材の破壊で破壊に至っている。ただし、供試体TD4についてはコンクリートの打設の際に不備があり、破壊荷重が小さくなっている可能性がある。また、すべての供試体において、TD部ではダイヤフラムの降伏は起こっていない。

表1 供試体諸元

供試体	鋼板厚(㎜)			JGJ10-2002の 圧縮強度 $f'_c$ (MPa)	TD部の 幅 (㎜)
	外殻 鋼板 方向	部材軸 方向	部材軸直 角方向		
No.1	18.38	4.33	4.33	14.9	206.5
No.2	18.38	4.33	4.33	12.0	207.0
No.3	18.38	4.33	9.18	17.1	207.0
No.4	18.38	9.18	4.33	15.5	202.5

表2 鋼材の特性値

鋼板厚 (㎜)	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
4.33	354.2	464.9	203.9
9.18	286.8	456.7	202.6
18.38	262.4	428.1	186.6

表3 解析に用いた諸元

供試体	Y方向鉄筋比 (%)
No.1(TD1)	0.573
No.2(TD2)	0.568
No.3(TD3)	0.573
No.4(TD4)	1.136

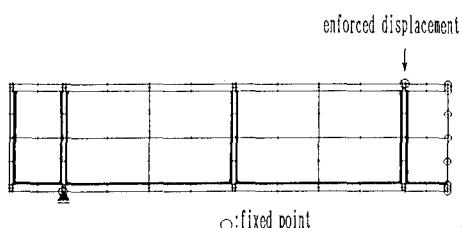


図2 要素分割(TD3)

#### 4. 2 解析結果

FEM解析は実験において、破壊したTD部のみについて行った。FEM解析によって得られた各供試体の支間中央部分における荷重-変位曲線を実験値と併せて、図3に示す。図3に示すように、FEM解析値は剛性については、実験値と概ね一致しているといえる。ただし、供試体TD1については節点数、要素数が大きく、解析上困難であったため、接合要素を取り除いて解析している。TD1において、180kN付近から、解析値の方が剛性が高くなっているのは接合要素がなく、すべりが生じていないことが原因ではないかと思われる。次に、終局耐力の比較であるが、全体的に解析値の方が実験値よりも低い値となっている。解析結果によると、全ての供試体において、終局荷重附近からせん断スパン内におけるコンクリート部分が圧縮軟化を起こしていた。

次に、供試体TD2とTD4のコンクリート部分の最大荷重における主応力図を図4に示す。TD3はTD4と同様な傾向を示していた。TD1は接合要素を取り除いた影響があるため、検討しないこととする。図4より、コンクリートの圧縮斜材はダイヤラム間に形成されているのがわかる。FEM解析によると、コンクリートの圧縮斜材が部材軸となす角度 $\theta$ は、30°～40°前後の値であった。実験で観察された主ひずみの角度 $\theta$ はTD2～TD4については、30°～40°前後の値であり、解析値と概ね一致していると思われる。

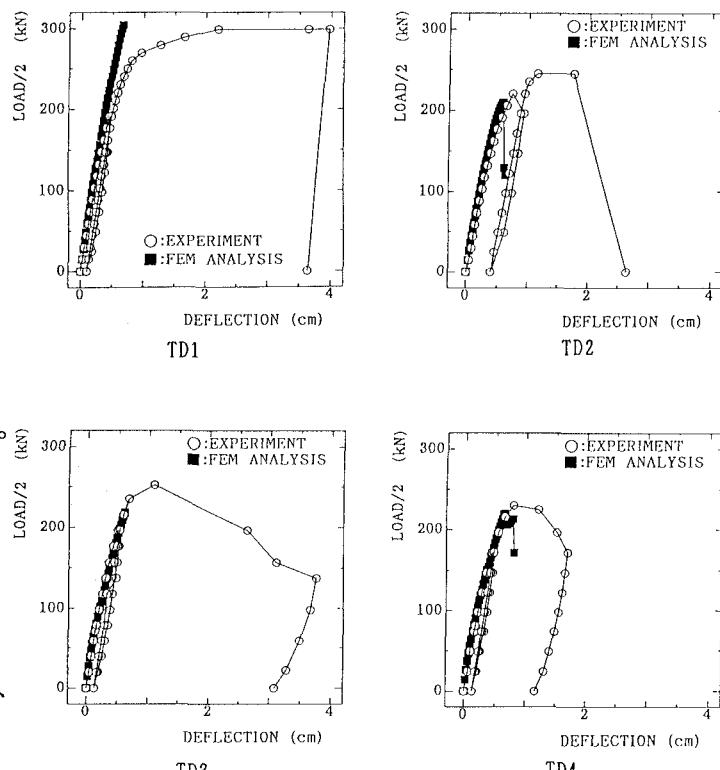


図3 荷重-変位曲線

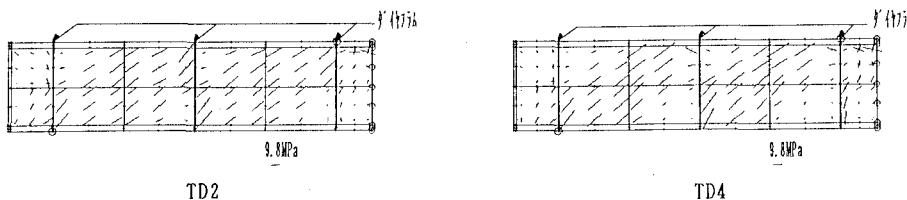


図4 コンクリート部分における主応力図

次に、供試体TD2において、載荷点に最も近いタイピングレット、および、せん断スパン中央部のダイヤラムの荷重-ひずみ曲線を図5に示す。図5に示すように、タイピングレットについてはFEMと実験値は概ね一致しているといえる。しかし、ダイヤラムについては一致しておらず、今後、詳細に検討していくたいと考えている。

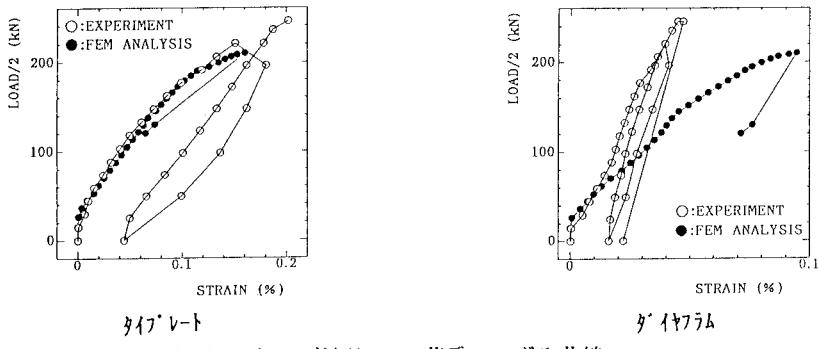


図5 タイプレットおよびダイヤフラムの荷重-ひずみ曲線

最後にFEM解析によって得られた終局耐力を実験値と併せて、表4に示す。ただし、TD4については信頼できるデータではないため、ここでは検討しないことにする。また、土木学会で提案しているせん断耐力式<sup>3)</sup>(JSCEJ-ド)によって計算される値も併せて示す。ただし、この値は部材軸方向に配置されているせん断補強鋼板(タイプレット)だけがあるとして算定されるせん断耐力と軸直角方向に配置されているせん断補強鋼板(ダイヤフラム)だけがあるとして算定されるせん断耐力のうち、大きい方をせん断耐力としている。表4に示すように、FEM解析値と実験値は概ね一致しているといえるが、供試体TD2とTD3については解析値のほうが小さい値となっており、差が大きい。JSCEJ-ドによって計算される値もFEM解析値と同様な傾向を示しており、今後も検討する必要があるといえる。

表4 せん断耐力の比較

供試体	実験値(kN)	FEM(kN)	JSCEJ-ド(kN)
TD1	299	304	274
TD2	245	210	180
TD3	253	218	180
TD4	233	220	245

## 5.まとめ

- 1) FEM解析によって得られた荷重-変位曲線において、剛性は実験値と概ね一致していたが、終局耐力についてはFEM解析値は低く評価する傾向にあり、今後も検討の必要があるといえる。
- 2) 部材軸方向、軸直角方向とともにせん断補強鋼材を有するサンドイッチ構造はりの場合、コンクリートの圧縮斜材と部材軸とのなす角度θは部材軸直角方向に配されたせん断補強鋼材により、主に決定されると思われる。
- 3) せん断補強鋼材の荷重-ひずみ曲線において、FEMと実験値はタイプレットについては概ね一致していたがダイヤフラムは一致していなかった。

## 6.おわりに

本解析では実験で破壊したTD部のみ解析を行っているが、FT部についても今後、解析をしたいと考えている。

## 謝辞

本研究の解析に用いた供試体の実験に携わった熊田広幸君と北海道大学の木村勉技官、供試体作製に関してはニッケン室蘭エソツニアリングの上野満氏に多大な御助力をいただいた。この場を借りて感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) ナレス ハンターノン: 鉄筋コンクリート梁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) 上田多門・塩屋俊幸: 鋼コンクリート系サンドイッチ構造, コンクリート工学, Vol. 30, pp. 6-20, 1992年5月.
- 3) 土木学会: 鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案), コンクリートライナーリー, 第73号, 1992年7月.