

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、サト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プレー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、タイプレー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に示す通りである。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っていない。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¹⁾。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スリット、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、タイプレートが降伏し、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プレートの降伏が同時に進行し、破壊に至っている。これはタイプレートの降伏により、破壊したとみなすことができる。供試体TD4はタイプレー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 (mm)			コンクリートの 圧縮強度 f'c (MPa)	タイの 幅 (mm) (TD部)
	外装 鋼板	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 (mm)	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
4.33	354.2	454.9	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

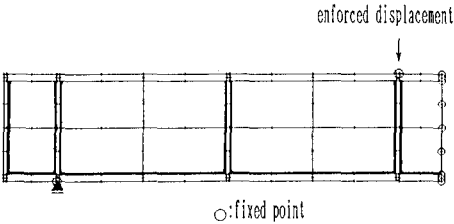


図 2 要素分割 (TD3)

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、終局荷重付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、検討しないことにする。図4より、コンクリートの圧縮斜材はダイヤフ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 θ は、 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 前後の値であった。実験で観察された主ひずみの角度 θ はTD2～TD4については、 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 前後の値であり、解析値と概ね一致していると思われる。

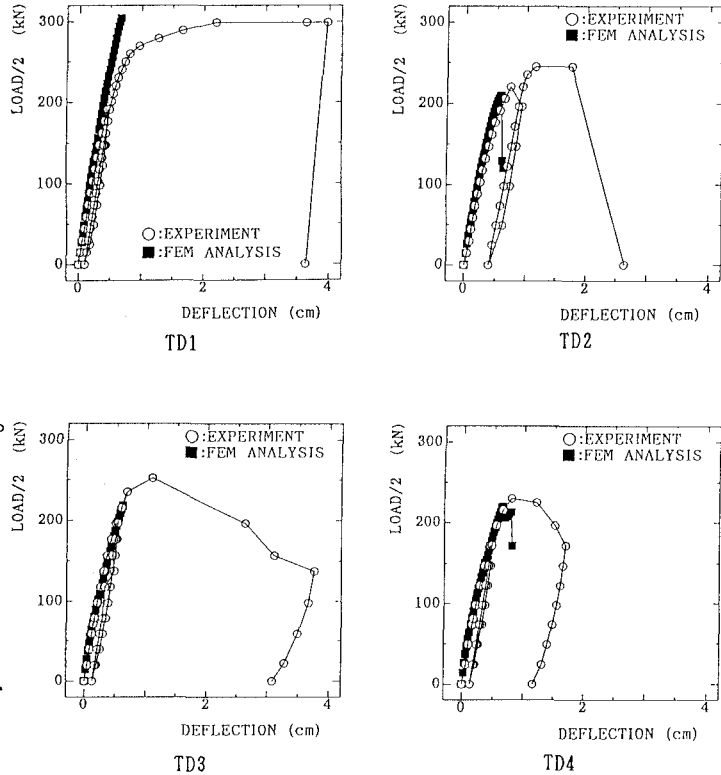


図3 荷重－変位曲線

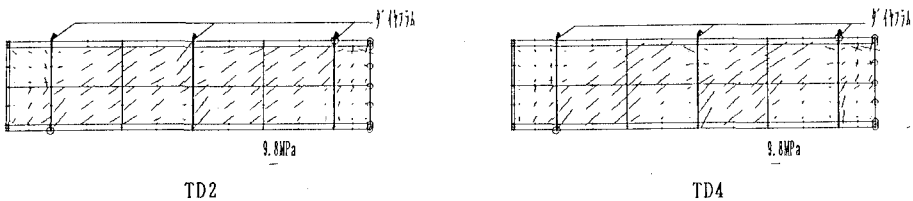
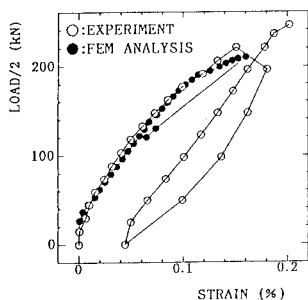
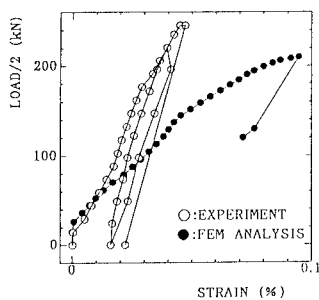


図4 コンクリート部分における主応力図

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



タイプレート



タイワラム

図5 タイプレートおよびタイワラムの荷重－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³⁾(JSCE-J-1)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(タイプレート)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(タイワラム)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。JSCE-J-1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)	JSCE-J-1 (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、今後検討の必要があるといえる。
- 2) 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ッド型構造はりの場合、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ートについては概ね一致していたがタイワ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パ室蘭エンジ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) 大井 邦子他：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ッド型構造，コンクリート工学，Vol. 30，pp. 6-20，1992年5月。
- 3) 土木学会：鋼コンクリートサッド型構造設計指針（案），コンクリートライブラリー，第73号，1992年7月。