

論文 PC埋設型枠を用いた長スパン合成床板の短期曲げ性状に関する実験的研究

山下 正吾*¹・岩原 昭次*²

要旨：スパンの長大化に対する適用性を検討する為に、場所打ち一体式床板と比較してクリープ・収縮の影響を余り受けず、また、底面が平らな一方向合成床板に対して、両端固定を想定した曲げ実験を行った。また、PC合成床板の端部の曲げ耐力を確認するための実験も同時に行った。最大荷重は床板中央のPC鋼より線が降伏することにより生じ、荷重-たわみ曲線はPC鋼より線の応力-歪曲線に依存すること、及び降伏時の荷重などは簡単な増分解析で比較的良く推算できることが分かった。

キーワード：埋設型枠、一方向合成床板、短期、荷重、たわみ

1. はじめに

プレテンション方式によるプレストレストプレキャスト板を型枠として用い、その上に場所打ちコンクリートを打設して、硬化後はその型枠と場所打ちコンクリート部分が構造的に一体となって挙動するPC合成床板工法が多種開発され、実用化されている。

近年、設計上の要求から、建築における床スラブのスパンは8~9m程度以上へと長大化していく傾向にある。しかしながら、建築用床スラブとしてスパンの長大化を対象とした長期持続荷重下の曲げ性状は系統的に確認されていないようである。また、底面が平らな合成床板は、それが8~9m程度以上のスパンの長大化に対して適用可能になれば、階高の低減や小梁の省略等が求められる建築物にとって極めて有用となる。以上の観点に立って、本研究では、スパン長が大きい場合を対象として、底面が平らな逆T形埋設型枠を有する合成床板の曲げ性能を確認するための実験を行った。また、合成床板の端部の曲げ性能に対する実験も同時に行った。

2. 実験概要

2. 1 試験体

実験に用いた試験体の数は2体である。

1体は両端固定支持一方向合成床板の曲げ性能を、もう1体は合成床板としてのスラブ端部の曲げ性能を検討するための試験体である。前者の試験体をCFRI、後者のそれをCFRCIと称することにする。

CFRIは内法寸法8.05mの両端固定一方向合成床板であり、CFRCIはスラブ長2.1mの片持ち式合成床板である。

図1に合成床板の断面形状を、図2にCFRIとCFRCIの全体形状を示す。埋設型枠と場所打ちコンクリート部とからなる合成断面の寸法、埋設型枠の断面形状及びPC鋼より線径等は両試験体とも同じである。

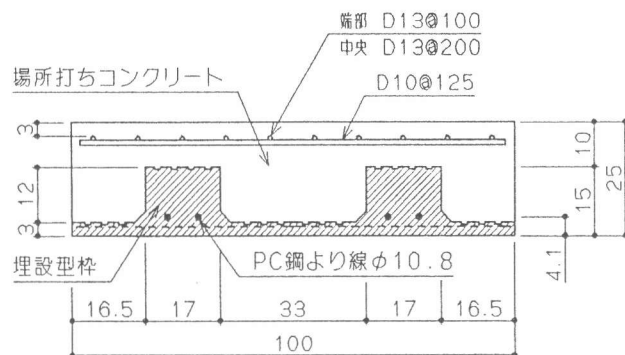


図1 合成床板断面図 (寸法単位: cm)

*1 (株)富士ピー・エス建築事業部課長 (正会員)

*2 熊本工業大学助教授 建築学科、工博 (正会員)

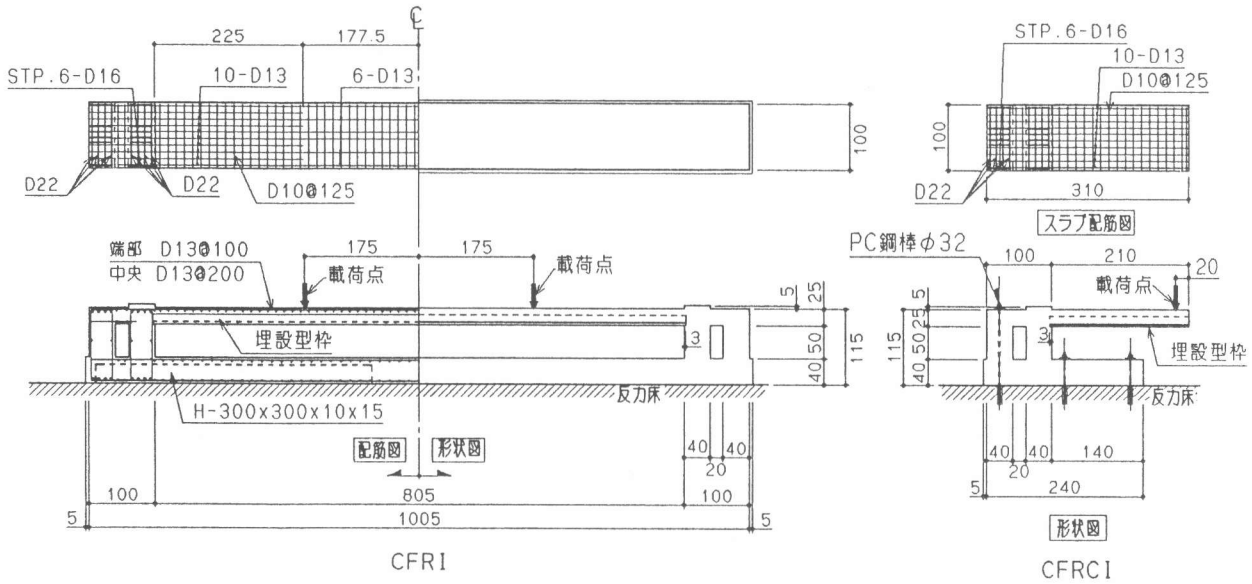


図2 試験体形状図 (寸法単位: cm)

埋設型枠及び試験体の製作方法については文献[1]等に示す方法と同じである。両試験体の埋設型枠にはプレテンション方式でプレストレスが導入されている。プレストレス導入のための緊張力の大きさは、応力レベルでPC鋼より線の降伏点応力度の8割としている。試験体の製作において、埋設型枠の下に仮支柱をCFRIに対して中央部分に2点、CFRCIに対して自由端に1点設けた。

2.2 使用材料の機械的性質

使用したコンクリートの機械的性質を表1に、鋼材の機械的性質を表2に示す。

2.3 養生と脱型

埋設型枠はコンクリート打設後14時間の蒸気養生を行い、翌日脱型を行った。その後、試験体製作時までストックヤードで自然放置とした。試験体製作は埋設型枠の材令で34日で行い、場所打ちコンクリート打設後1週間濡れた布で覆い湿潤養生を行った。養生終了後に試験体製作用の側型枠を撤去し、実験開始時まで放置した。

2.4 載荷方法

載荷実験は、場所打ちコンクリートの材令で50日で行った。両試験体とも埋設型枠を支持していた仮支柱を撤去し、自重によるたわみ等を測定した後、載荷荷重として、CFRIに対して図2に示すように2点集中荷重を、CFRCIに対して1点集中荷重を加えた。荷重履歴を図3に示す。

2.5 測定方法

たわみは電動式変位計を取り付けて測定した。その設置位置はCFRIに対して試験体中央の両側

表1 コンクリートの機械的性質

	養生方法	圧縮強度 (kgf/cm ²)	E	割裂強度 (kgf/cm ²)	スラン プ(cm)
埋設型枠用 コンクリート	蒸気養生(7)	403	2.65	—	2
	水中養生(7)	340	2.54	—	
	蒸気養生(29)	651	2.79	42.1	
	水中養生(29)	622	2.95	42.7	
	蒸気養生(57)	516 ^(注1)	2.79	50.0	
場所打ち用 コンクリート	湿潤養生(29)	332	2.44	30.1	22
	水中養生(29)	305	2.36	28.8	

(注1) * : キャッピング不良のため参考値とする

(注2) E : ヤング係数 (×10⁶ kgf/cm²)

(注3) : () 内: コンクリートの材令 (日)

表2 鋼材の機械的性質

	PC鋼より線*	鉄筋D13
品質	SWPR7AN	SD295A
標準直径(mm)	φ10.8	12.7
公称断面積(cm ²)	0.697	1.267(1.112**)
降伏点応力(kgf/cm ²)	18226	3778(1880***)
最大応力(kgf/cm ²)	19948	5654
ヤング係数(kgf/cm ²)	1.91×10 ⁶	2.01×10 ⁶

(注1) * : ミルシートによる (注2) **: 実断面積

(注3) *** : 降伏点歪 (μ)

面に2ヶ所、CFRCIに対して自由端の上面に2ヶ所とした。

PC鋼より線の歪はCFRIに対してその中央部に位置する4本のPC鋼より線のうち外側2本に歪ゲージ(FLA-2)を貼付け、プレストレス導入時から測定した。

鉄筋歪はCFRIに対してスラブの両端付近にそれぞれ12点、中央部付近に6点、CFRCIに対してスラブの固定端付近に12点、自由端付近に2点、歪ゲージ(FLE-2)を貼付けて測定した。PC鋼より線と鉄筋歪の測定位置を図4に示す。

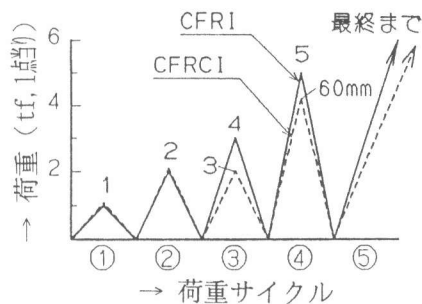


図3 荷重履歴

3. 実験結果

3. 1 ひび割れ状態

CFRIは仮支柱撤去直後に両端の固定端の側面に深さ5cm程度の微小なひび割れが生じた。そして、載荷に対しては第①サイクルの1tf時に、先に生じていたひび割れが埋設型枠端部と場所打ち部との界面に沿う形で伸びた。第④サイクルの4tf時には中央部下面にひび割れが生じた。最大荷重時(9.88tf)

では、固定端部のひび割れは埋設型枠のフランジ上面(合成断面下面から3cmの位置)まで進展した。しかしながら、ひび割れは合成断面を貫通はしなかった。また、中央部上面でのコンクリートの圧壊は認められなかった。

CFRCIは第①サイクルの1tf時で固定端上部からスタブ側へ伸びる長さ5cm程度のひび割れが発生し、最大荷重時(4.5tf)で、固定端部のひび割れは埋設型枠フランジ上面まで伸びた。

載荷終了時のひび割れ状態を図5と図6に示す。

なお、載荷実験終了後に端部ひび割れ破断面を調べた結果、かかり代部分の埋設型枠にはひび割れが見られず、また、埋設型枠の端面とスタブ部分の場所打ちコンクリート部分との界面が剥離した形跡が認められず、両者が一体化していたことが確認された。

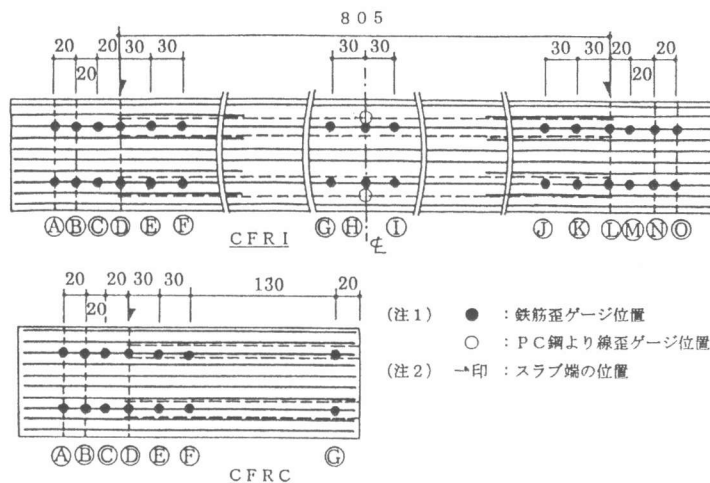


図4 鉄筋歪とPC鋼より線歪位置(寸法単位: cm)

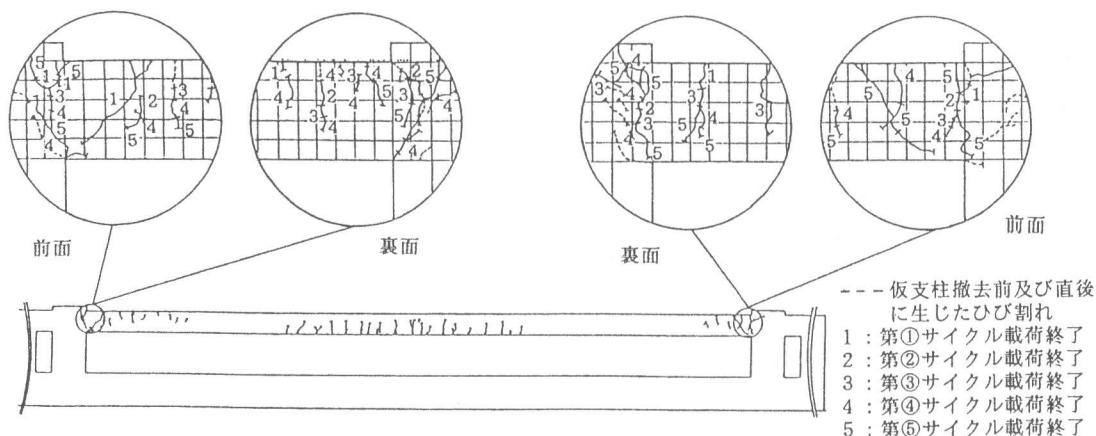


図5 CFRIひび割れ状況

3. 2 荷重-たわみ関係

図7にCFRIの中央点における、また図8にCFRCIの自由端における載荷時の荷重-たわみ曲線を、仮支柱撤去直前を基準にして示す。

CFRIでは仮支柱撤去後の中央点たわみは2.59mmであった。仮支柱撤去に伴って生じると考えられる荷重は1.535tf(仮支柱1本当たり)と推算される。固定端の鉄筋歪の履歴から端部引張鉄筋の降伏時の荷重は5.86tf、その時のたわみは22.53mmとなった。最大荷重は9.88tfで、その時のたわみは83.56mmとなった。最大荷重は端部引張鉄筋降伏時荷重の約1.7倍となった。仮支柱撤去時に既に端部にひび割れを生じたが、

荷重-たわみ曲線は加力によるひび割れの進展開始後から非線形状を示し、特に、端部引張鉄筋の降伏後、荷重の増大に比べてたわみが急激に増加すると共に、円弧状に進展している。最大荷重に達した後、荷重は徐々に減少するものの、たわみは増大し続けた。

CFRCIでは仮支柱撤去後のたわみは0.50mmで、固定端における初ひび割れ発生時(1tf)のたわみは1.56mmであった。固定端の鉄筋歪の履歴から端部引張鉄筋の降伏時の荷重は4.39tf、その時のたわみは17.69mmであった。引張鉄筋降伏後、荷重は余り増加せず、最大荷重は4.99tf(端部引張鉄筋降伏時の荷重の約1.1倍)であった。最大荷重後、荷重の減少は見られずたわみのみ進展した。

3. 3 PC鋼より線歪

図9に仮支柱撤去後を基準にしたCFRIの中央点におけるPC鋼より線の歪履歴を示す。中央部下面にひび割れが発生(荷重4tf)した辺りから、荷重の増加に比べて歪が著しく進展している。歪が2400 μ 以上になると殆ど荷重の増加は見られない。このことから、試験体中央点におけるPC鋼より線歪が降伏点に達したことにより荷重が最大となったことが分かる。また、図7に示すCFRIの荷重-たわみ曲線での最大荷重に至る過程は、明瞭な降伏点を示さないPC鋼より線の応力-歪曲線の包絡線と似ており、最大荷重に至る荷重-たわみ曲線はPC鋼より線自体の力学的な性質に依存するものと思われる。

3. 4 鉄筋歪

図10にCFRIの固定端の鉄筋歪を、仮支柱撤去後を基準にして示す。鉄筋歪は荷重5.87tfで材

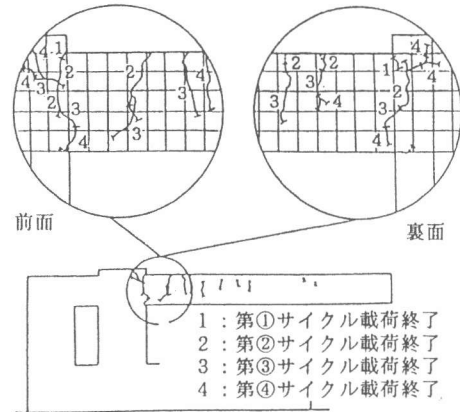


図6 CFRCIひび割れ状況

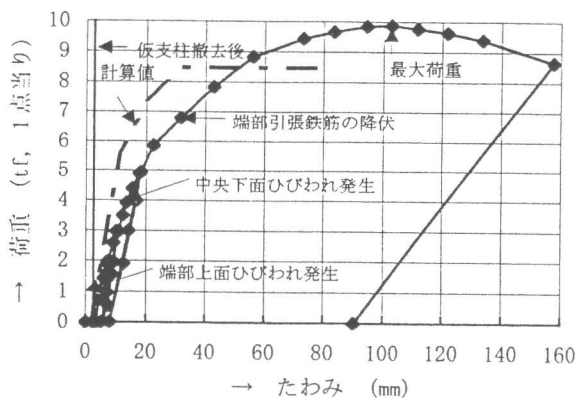


図7 CFRIの荷重-たわみ関係

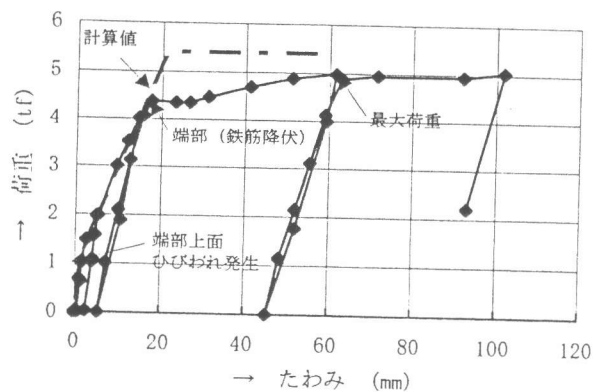


図8 CFRCIの荷重-たわみ関係

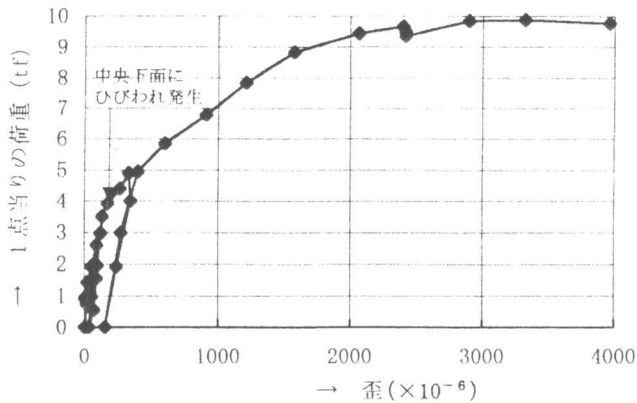


図9 CFRIの荷重-PC鋼より線歪関係

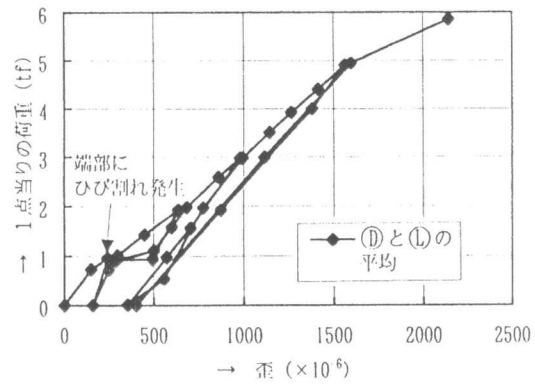


図10 CFRIの荷重-引張鉄筋歪関係

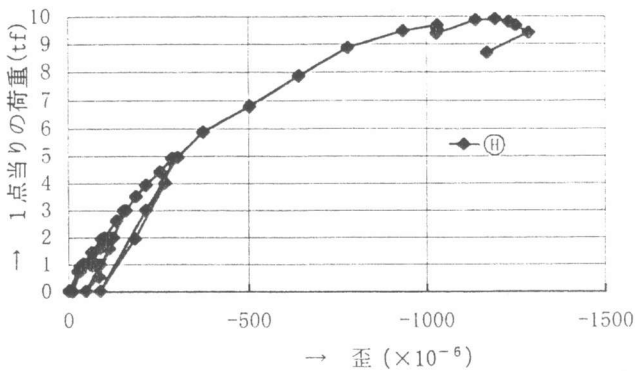


図11 CFRIの荷重-圧縮鉄筋歪関係

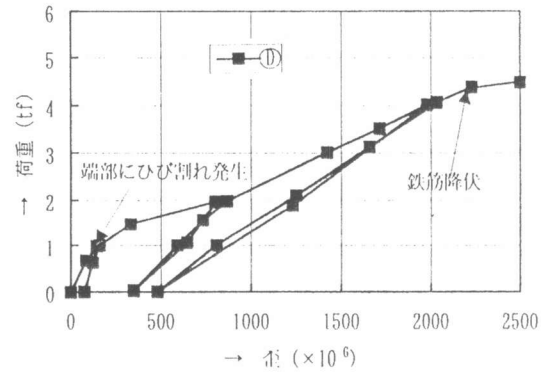


図12 CFRCIの荷重-引張鉄筋歪関係

料試験(表2)から得られた降伏点歪1880 μ を越えている。

図11にCFRIの中央位置の圧縮鉄筋の歪を示す。最大荷重に達しても鉄筋は降伏に至っていない。図9に示すPC鋼より線と図11に示す圧縮鉄筋の歪履歴から、最大荷重時では試験体中央の圧縮側コンクリートは圧壊していないと推測できる。

図12にCFRCIの固定端における鉄筋歪を示す。降伏点歪は2058 μ と推定できる。

図13にCFRIの長さ方向の鉄筋歪分布を示す。図より、固定端からスタブ側60cmの位置にある鉄筋歪は概ね0と見なすことができ、スラブ端部の引張鉄筋の定着長として約45D(D:鉄筋の直径)近くあれば十分であることが分かる。CFRCIも同様な結果を得た。

4. 載荷時の荷重-たわみ関係の解析

解析はスラブ両端を固定支持とし、またスラブ部分を1本の線材で表し、これにたわみ角式を用いた増分解析を適用して行った。その際、以下の諸仮定を用いた。

①CFRIに対して、計算用スパン長として、合成床板が弾性状態にある時スタブ芯々間距離を、ひび割れが生じた後はスラブ内法寸法を用いる。

②降伏曲げモーメントの算定法はプレレストレストコンクリート設計施工規準[3]に従う。

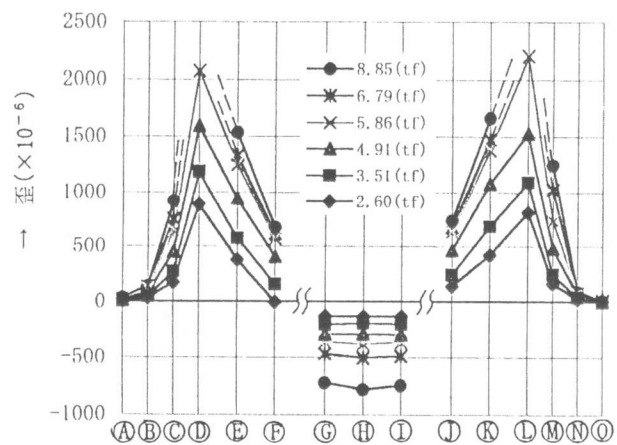


図13 CFRIの鉄筋歪分布

- ③モーメントー曲率関係はtri-linear型とし、ひび割れに伴う曲げ剛性の低下を考慮する。
- ④一度塑性ヒンジが生じたならば、その位置近傍の曲げ剛性は弾性曲げ剛性に復するとする。
- ⑤CFRIに対して、合成床板の曲げ剛性は端部と中央部の値の平均とする。
- ⑥塑性域の広がり、及びモーメントー曲率関係に及ぼすプレストレストの影響は無視する。

5. 解析結果と実験値の比較

実験値と計算値の比較を表3に示すと共に、計算値を図7, 8中に1点鎖線で示す。

表3 実験値と計算値の比較 (荷重: tf たわみ: mm)

		仮支柱撤去時		ひび割れ発生時		降伏荷重時		最大荷重時
		実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値
CFRI	荷重	—	—	0.963	0.585	—	8.49	9.88
	たわみ	2.59	2.25	4.66	2.96	—	31.60	83.56
CFRCI	荷重	—	—	1.00	1.12	4.39	5.31	4.99
	たわみ	0.50	0.46	1.56	1.36	17.69	21.32	100.86

CFRIは仮支柱撤去時にひび割れを生じたが、表3に

(注1) : たわみ値はCFRIが中央点、CFRCIが自由端の値を示す。
 (注2) : 降伏荷重計算値は、CFRIに対しては端部と中央部に、CFRCIに対しては端部にそれぞれ塑性ヒンジが形成された時の値を示す。

は参考のために、実験値の欄に加力時にひび割れが進展した荷重を載せた。そのひび割れ発生荷重の実験値は計算値の1.65倍であった。また、CFRIに対して、端部・中央部共に塑性ヒンジが形成された時の荷重（ここでは降伏荷重と称することにする）計算値は、最大荷重実験値の86%となった。CFRCIについてはひび割れ発生荷重の実験値は計算値の89%となったが、端部引張鉄筋の降伏荷重の実験値は計算値の83%となった。

CFRCIについては、仮支柱撤去時のたわみ、ひび割れ発生時及び降伏時の荷重とたわみの計算値は鉄筋の抜け出しを考慮していない簡便な計算法であるにもかかわらず、実験値に良く対応している。一方、CFRIに対するたわみ計算値は仮支柱撤去時で実験値と近似するものの、その後の載荷荷重に対しては実験値を過小に評価した。両端固定支持の場合は前4章で述べた仮定だけではなく、この他に端部引張り鉄筋の拔出し、ひび割れ分布域を考慮する必要があると考えられる。

6. まとめ

長大スパンの合成床板の短期載荷実験を行い、荷重増分法による解析を含めて検討・考察を行った結果、本実験の範囲内で以下の事が分った。

- (1)両端固定支持一方向合成床板は端部上端筋が降伏した後、中央部のPC鋼より線が降伏することで最大耐力に達した。その荷重ーたわみ曲線はPC鋼より線の応力ー歪曲線に依存するようである。
- (2)合成床板の端部の耐力は端部上端筋の降伏によって定まり、また明瞭な降伏点荷重を示す。最大荷重は降伏点荷重を約1割ほど上廻るにすぎなかった。
- (3)片持ち支持の合成床板の実験値は荷重・たわみ共に増分解析による計算値に比較的良く対応した。しかしながら、両端固定支持一方向床板に対しては、降伏荷重に対しては計算値と近似したものの、たわみに対しては計算値は実験値を過小に評価した。今後、たわみに対しては、端部引張り鉄筋の拔出し、ひび割れ分布域を考慮した計算法で検討する予定である。

[参考文献]

- [1]岩原昭次、山下正吾、小森清司、鈴木功:逆T型PC埋設型枠を用いた合成床スラブの長期曲げ性状に関する研究、日本建築学会論文報告集、第480号、1996. 2.
- [2]岩原昭次他:鉄筋コンクリート一方向床スラブの載荷直後の曲げ性状について、第6回コンクリート工学年次講演会論文集、PP. 641~644、1984
- [3]日本建築学会:プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説、丸善、昭和62年1月