

薄型シャーコッターによる接合面の設計に関する研究

—大型ハーフ PC 合成床板工法に関する研究—

高田 博尾
(技術研究所)

中 沢 春 生
(技術研究所)

§ 1. はじめに

近年、躯体床板のおよそ下半分をプレハブ化（ハーフ PC 化）し、これを打込み型枠として残りのコンクリートを打ち込んで床板を構築する方法が、労務逼迫や短工期に対応できる工法として広く普及してきている。しかし、ハーフ PC 板は通常プレハブ工場で製造されるために、主として工事現場までの輸送が原因となってハーフ PC 板の幅が1～2m程度に制限されている。したがって、大梁等で四周を囲まれる1グリットに複数の板の敷設が必要となり、その結果1方向構造の合成床板となること、板相互のジョイント処理が必要であること等から鉄筋やコンクリートなどの物量増となっている。

そこで筆者らは、従来のハーフ PC 合成床板工法のもつ長所を生かしつつ、より合理的な構造設計が可能となる大型ハーフ PC 合成床板工法を開発した。

本論文は、筆者らが開発した工法に関して、大型ハーフ PC 板と打込みコンクリートとの合成接合面で水平せん断力を伝達し、合成構造の設計が可能となる接合機構を明らかにし、設計方法を提案するとともに、その機構により一体化した合成床板について妥当性を確認したので、その結果について述べる。

§ 2. 大型ハーフ PC 合成床板工法

大型ハーフ PC 合成床板工法の概要を図-1に、本工法の特徴を表-1に示す。

大型ハーフ PC 板は、工事現場内の敷地を有効に利用

- ①大型ハーフ PC 板と打込みコンクリートとの合成床板である
- ②1枚/1グリットの大型ハーフ PC 板を使用している
- ③幅80×80×深さ8mmの薄型シャーコッターを大型ハーフ PC 板表面の四周の水平せん断力の大きい箇所配置している
- ④2方向構造の合成床板である

表-1 大型ハーフ PC 合成床板工法の特徴

するため積層して製作する。そこで、積層ができるように薄型凹型のコッターを PC 板の上面に配置している。

§ 3. 大型ハーフ PC 合成床板の合成に関する検討

3.1 検討の目的

PC 板と打込みコンクリートとを一体化するため従来からシャーコッターを設計する事例は多いが、適用部位が床板で全面が水平打継面であり、常時水平せん断力が働いている箇所にごく薄型凹型シャーコッターをせん断力が大きくなる周辺に集中して配置した構造については既往の研究例がほとんどなく、未知の分野である。この構造の特性を明らかにし、設計方法を提案することを目的とした。

3.2 実験計画

3.2.1 試験のためのモデル床板

大型ハーフ PC 合成床板を適用する建築物として、比

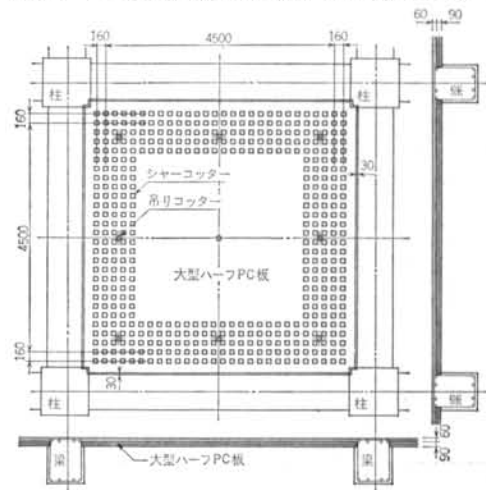


図-1 大型ハーフ PC 合成床板工法の概要

	共同住宅		宿泊施設	
D. L	仕上げ	5		5
	打増	@ 60 140		0
	RC	@150 360	@150+10	384
	天井	15		20
L. L	小計	520		409
		180		300
T. L		700		709

表-2 モデル床板の荷重条件 (kgf/m²)

較的床板の形状が標準化している集合住宅や宿泊施設等を対象に考えると、床板寸法は短辺スパンで3~5m、厚さ15cm程度が多い。そこで、試験のためのモデル床板を有効スパンで約4.5m、床板の厚さを15cmとした。また、シャーコッターの形状および寸法は、深さ8mm×幅80mm×80mm(薄型シャーコッター)とし、周辺梁に沿って数列設ける。モデル床板の荷重条件を表-2に示す。

3.2.2 合成接合面の水平せん断力の検討

床板を単位幅の梁とし、荷重を表-2から700kgf/m²と仮定すると、合成接合面に発生する最大水平せん断力(τ_{max})の大きさは、

$$\tau_{max} = 1.5 \times (Q_1/bh) \times [1 - (2y/h)^2]$$

$$= 1.52 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 Q_1 : 総水平せん断力

bh : 単位幅の梁の幅×厚さ

y : 中立軸から合成接合面までの距離

また、合成接合面の付着強度は A. Mattock や Halasz らの実験結果から 5kgf/cm²程度であるとされている。したがって、モデル床板の荷重条件から算定した水平せん

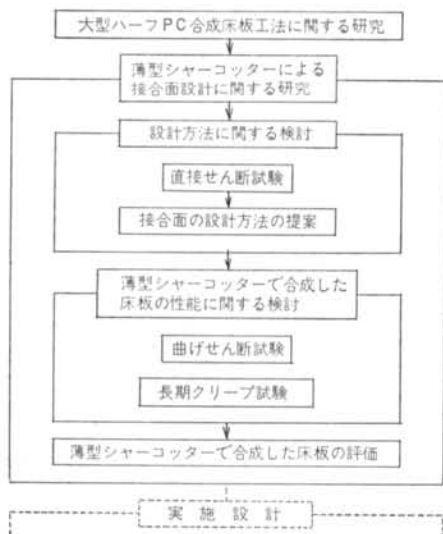


図-2 薄型シャーコッターに関する検討のフロー

断力に対して付着力だけで十分であると思われるが、長期経過した後は付着力の低下が懸念される。

そこで、大型ハーフ PC 合成床板工法では付着力を余力と見なし、薄型シャーコッターのみで合成床板としての剛性や耐力を確保することを設計の方針とした。

3.2.3 試験の項目

本報で実施した試験のフローを図-2に示す。まず、薄型シャーコッターのせん断耐力試験を実施し、シャーコッターの基本的なせん断力伝達性能を把握して設計方法を検討する。次に、設計方法に基づき試設計した合成床板に関して、剛性、耐力、長期たわみ性状などについて試験し、合成床板の設計方法の妥当性を確認する。

§ 4. 薄型シャーコッターによる接合面の設計方法にする検討

4.1 検討の目的

大型ハーフ PC 板の四周边部の上面に配置する薄型シャーコッターや吊りフックを内蔵した凹型コッター(吊りコッター)等が合成接合面のせん断耐力に与える効果について試験し、合成接合の設計方法を明らかにする。

4.2 試験体および使用材料

試験体形状と内容一覧を図-3、表-3に示す。試験体はシャーコッターの形状と打込みコンクリートの厚さを主変動要因とし、試験体数は載荷履歴の差を見ることも含め22体とした。要因の内容は以下のとおりである。

(a)シャーコッターは辺長が80mm×80mmで、深さを8mmと4mmの2種類とした。

(b)辺長が80mm×80mmで、深さが30mmの吊りコッター

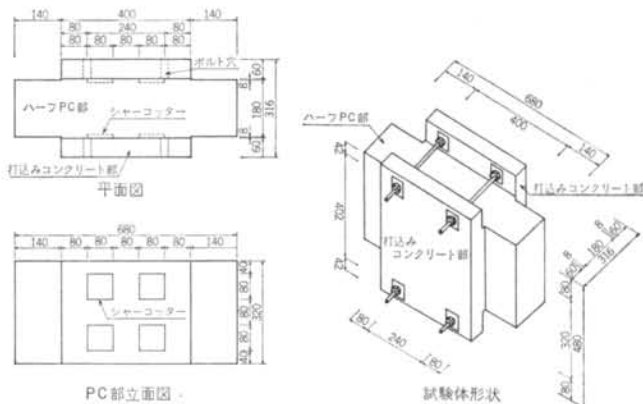


図-3 薄型シャーコッターのせん断耐力試験体

と、薄型シャーコッターとの組合せの効果を知る。

(c)シャーコッターのみによるせん断力伝達の効果を知るため、PC板の表面は金鍍で仕上げ、さらにその表面に剝離剤を塗布することを基本とした。

(d)付着力によるせん断力伝達の効果を知るため、木鍍仕上げ（剝離剤の塗布なし）の因子を加えた。

試験体は、厚さ18cm×幅32cm×長さ68cmのハーフPC板をまず製作し、その両側に型枠を組み、加力方向と直交する方向からコンクリートを打込んで製作した。

試験体に使用した鉄筋およびコンクリートの材料試験結果を、表-4に示す。

試験体 No	PC板表面の性状 ³⁾				IC板 厚さ ⁵⁾ (mm)	載荷 履歴	最大荷重 P_{max} (t)	平均せん断 応力 ²⁾			平均支圧 応力 ²⁾			破壊 状況 ¹⁾	備 考			
	薄 コッター 深さ (mm)	型 コッター 個数 ⁴⁾	吊 コッター 個数 ⁴⁾	リ 仕上げ 方法				ΣA (cm^2)	$\tau = \frac{P_{max}}{\Sigma A}$ (kgf/cm^2)	$\tau/F_c^{2)}$	ΣB (cm^2)	$\sigma = \frac{P_{max}}{\Sigma B}$ (kgf/cm^2)	$\sigma/F_c^{2)}$					
																個数	個数	個数
1			2		60	一方向	25.0	640	39.1	0.175	96.2	260	1.16	b	1) 破壊状況 b: 支圧型 S: せん断型 S*: せん断型 (+)付着せん断 2) $F_c=224kgf/cm^2$ 3) PC板の厚さは180mm 4) 吊りコッターは9φフックを内蔵している 5) IC板は打込みコンクリートを示す			
2	8	8				正負	22.0									34.4	0.154	229
3			0			一方向	12.8	512	25.0	0.112	51.2	250	1.18	b				
4							31.5									61.5	0.275	615
5	0	0				繰返	11.0	128	85.9	0.384	45.0	244	1.09	S				
6			2				5.8									45.3	0.202	129
7						一方向	21.5	640	33.6	0.150	96.2	223	1.00	b				
8	8	8					正負									41.4	64.7	0.289
9			0	金鍍仕上げ		100	一方向	56.0	512	109.4	0.489	51.2	1,094	4.89		S*		
10								27.0									52.7	0.235
11	0	0	2	剝離剤塗布			正負	7.8	128	60.9	0.272	45.0	173	0.77		S		
12								7.9									60.9	0.272
13							60	一方向	6.9	512	13.5	0.060	25.6	270		1.20	b	
14	4	8	0						7.9									15.4
15								6.4	512	12.5	0.056	250	1.12	b				
16								6.1								11.9	0.053	238
17			2					一方向	17.9	640	28.0	0.125	96.2	186		0.83	b	
18	8	8							17.3									27.0
19			0					一方向	13.3	512	26.0	0.116	51.2	260		1.16	b	
20									15.5									30.3
21	0	0	2	木鍍仕上げ				60	一方向	61.0	2,560	23.8	0.106	45.0		1,356	6.06	S
22									繰返	70.0								

表-3 試験体の種類および試験結果

大型ハーフPC板に使用したコンクリート (kgf/cm^2)						打込みコンクリートに使用したコンクリート (kgf/cm^2)						鉄筋 ($n=3$ 本の平均値)								
標準水中養生			現場気中養生			標準水中養生			現場気中養生			断面径寸法 (mm)		10公称	8.25					
材令	圧縮	割裂	曲げ	$E10^5$	材令	圧縮	割裂	曲げ	$E10^5$	材令	圧縮	割裂	曲げ	$E10^5$	材令	圧縮	割裂	曲げ	$E10^5$	
6	151	—	—	2.12	178	—	—	2.04	7	147	—	27.2	2.72	179	—	22.5	2.69	降伏時荷重 (ton)	2.70	2.58
21	230	—	29.7	2.71	235	—	24.5	2.01	21	226	—	37.3	2.84	216	—	28.8	2.32	降伏時応力 (kgf/mm^2)	34.3	47.5
35	227	21.2	33.6	2.72	220	—	31.0	1.96	39	256	25.1	42.5	2.98	236	22.4	28.0	2.35	破断時荷重 (ton)	3.96	3.68
63	262	25.5	40.1	2.83	241	18.4	32.2	2.86	49	239	26.0	43.6	2.86	238	23.3	32.6	2.84	破断時応力 (kgf/mm^2)	50.6	66.9
110	313	—	41.9	2.97	294	26.4	37.1	—	96	284	23.3	47.2	—	289	24.5	32.3	3.11			
186	331	—	44.3	3.42	318	—	35.4	2.61	169	311	—	36.9	3.50	312	—	34.5	2.70			

表-4 試験体に使用した材料の試験結果

4.3 試験方法

試験方法を図-4に示す。試験は押抜型で、1方向および正負交番の繰り返しせん断力を加力治具等を介してハーフPC板に載荷し、打込みコンクリート部2枚で反力を受ける方法とした。加力および反力荷重はロードセルで計測し、接合面のせん断力伝達量を検定した。加力時には打込みコンクリート部相互の間隔を維持するため、貫通孔に長ネジを通し手締めにより固定した。なお、この長ネジの抵抗を知るためゲージを貼付し、ひずみ度を計測した。また、加力によりハーフPC板と打込みコンクリートとの相対せん断ずれ量を計測するため、電気式ダイヤルゲージを配置した。

4.4 試験結果および検討

試験結果の一覧を表-3に示す。破壊性状は、深さが8mm、4mmの薄型シャーコッターはいずれも支圧破壊型となり、深さ30mmの吊りコッターはせん断破壊型を示した。これらの代表例を図-5に示す。なお、表-3の破壊状況欄の「S*：せん断型(+)付着せん断」とは、接合面に剝離剤を塗布したが接合面以外で破壊したもので、本工法では付着力を構造上の余力と考えているため、以降の検討から除外した。さらに、長ネジには図-6に示すように、最大荷重に至るまでほとんどひずみ度の変化がなかったので、この拘束の影響はないものとした。また、ハーフPC板と打込みコンクリートの相対変位は、図-7に示すように最大荷重に至るまでほとんど変化がなく、また載荷履歴の影響も認められない。

なお、試験結果の検討に当たってコンクリートの圧縮強度を、材料試験の結果から224kgf/cm²とした。

図-8に、薄型シャーコッターの深さと最大耐力との関係を示す。本試験から、以下に示す結果を得た。

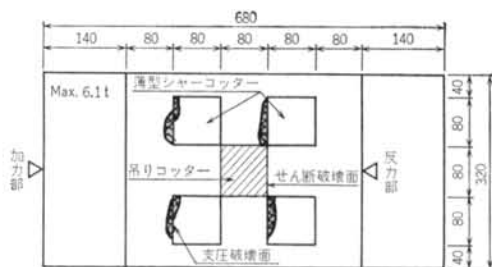


図-5 薄型シャーコッターと吊りコッターの破壊例

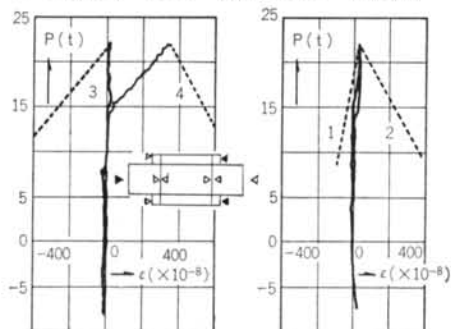


図-6 長ネジのひずみ度変化 (No.2試験体)

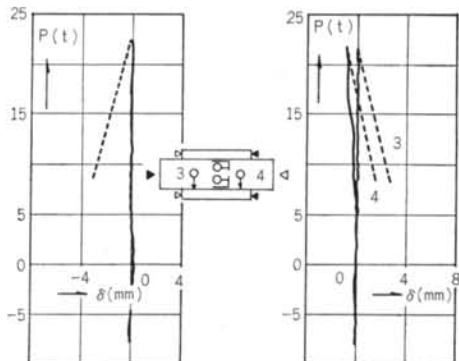


図-7 接合面の変位測定結果 (No.2試験体)

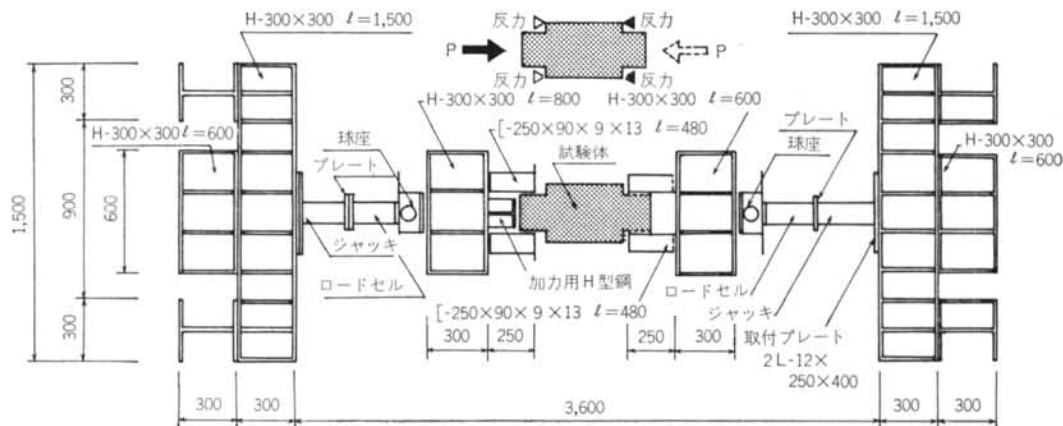


図-4 水平接合面のせん断耐力試験方法

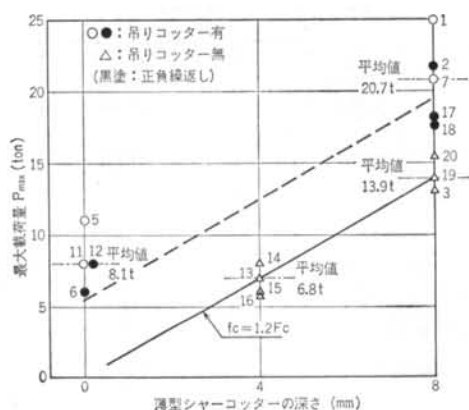


図-8 薄型シャーコッターの深さと最大耐力

(a)本試験の範囲内においては、載荷履歴の影響はほとんど認められなかった。

(b)薄型シャーコッターのみの試験体ではすべてコッターの側面での支圧破壊型であり、その際の最大耐力の平均値は深さ4mmで約6.8tf、8mmで約13.9tfである。コッターの支圧面積の増加に伴い比例して増大しており、これをコッターの支圧面積で除した支圧応力度は、平均して269kgf/cm²(約1.2F_c)であった。

(c)深さ30cmの吊りコッターのみの試験体ではコッター部の水平せん断破壊型となり、最大耐力の平均値は約8.1tf、平均せん断応力度は63kgf/cm²(約0.28F_c)であった。

(d)深さ8mmの薄型シャーコッターと深さ30mmの吊りコッターとを組合わせた試験体ではややばらつきが見られるものの、平均値で20.7tfの耐力を示し上記(b)、(c)で述べた耐力の和にほぼ近似する値となった。

(e)薄型シャーコッターを配置せず接合面を木鋸均しとし、付着抵抗によりせん断力を伝達する場合の平均せん断応力度は、約26kgf/cm²(約0.1F_c)であった。

4.5 試験結果の考察

本試験から、薄型シャーコッターは支圧面積に対するせん断面積の比を64/6.4=10と比較的大きくしているためにすべて支圧破壊となり、その支圧耐力は約1.2F_cであることが認められた。

一方、深さ30mmの吊りコッターは支圧面積に対するせん断面積の比を64/24=2.7と小さくしているため、すべて吊りコッターの横断面でせん断破壊した。この場合の耐力については、この面を降伏線とする極限解析により導かれたHansenらの式が与えられており、既往の実験結果によく合致する式として式(2)が提案されている。

$${}_{30}Q_u/F_c = 0.09 A_s + a_t \times f_y/F_c \quad \dots(2)$$

ここで、 ${}_{30}Q_u$: 吊りコッターのせん断耐力

F_c: コンクリートの圧縮強度

A_s: 吊りコッターの横断面面積

a_t: 横断面を横切る補強筋断面積

f_y: 補強筋の降伏点応力度

式(2)に本試験で得た数値を代入すると、 ${}_{30}Q_u = 5.6 f_c$ となる。この値に薄型シャーコッターのせん断耐力1.2F_c×支圧面積を加算したものを、図-8の中に点線で示す。図から明らかなるように、吊りコッターと薄型シャーコッターとを併せもつ試験体の耐力とおおむね近似していることが分かる。

以上より、本工法の薄型シャーコッターの水平せん断力伝達耐力は、薄型シャーコッターの圧壊強度と、吊りコッターのせん断耐力の和として表現できると考えられる。

4.6 接合面の設計方法

考察から、吊りコッターのせん断耐力を設計上の余力と見なし、深さ8mm×幅80mm×80mmの薄型シャーコッターのみで余力をもった合成構造の設計ができることが明らかになった。以下に、接合面の設計方法を提案する。

(a)合成接合面の最大せん断応力度 τ_{max} は式(3)による。

$$\tau_{max} = 1.5 \times Q_2 / (b \times h) \quad \dots(3)$$

ここで、Q₂: 設計用せん断力(kgf)

(b)シャーコッターの許容応力度afは式(4)、(5)による。

$$\text{許容支圧応力度 } af_c = F_c/3 \quad \dots(4)$$

$$\text{許容せん断応力度 } af_s = F_c/30 \quad \dots(5)$$

シャーコッターの支圧耐力は、試験の結果1.2F_cであり、短期の許容支圧応力度を2F_c/3とすると十分安全側となっている。そこで、長期許容支圧応力度に式(4)を提案する。また、シャーコッターのせん断耐力は試験の結果0.28F_cであり、通常コンクリートの許容せん断応力度の値をそのまま採用しても十分安全側にあり、長期許容せん断応力度に式(5)を提案する。

(c)シャーコッター1個当たりの許容耐力qは式(6)、(7)のいずれか小さい方を採用する。

$$q_c = af_c \times A_c \quad \dots(6)$$

$$q_s = af_s \times A_s \quad \dots(7)$$

ここで、q_c(q_s): シャーコッターの許容支圧(せん断)耐力

A_c(A_s): シャーコッターの支圧(せん断)面積

(d)シャーコッターの配置数nは式(8)により求める。

$$n = Q_3 / q \quad \dots(8)$$

ここで、Q₃= $\tau_{max} \times l \times b/4$

§ 5. 合成床板の曲げせん断試験

5.1 試験の目的

「接合面の設計方法」に基づいて設計した合成床板に関して剛性、耐力、変形性状および破壊状況を調べ、合成床板の性能を評価し設計方法の妥当性を確認することを目的とし試験を行なった。

試験は、合成床板の設計内容をより明確にするためにシャーコッターを配置せず、接合面に剝離剤を塗布しない合成床板（シリーズ1）、端部梁の回転拘束をなくし、応力状態を明確にするためのピン・ローラー支持による単純梁形式（シリーズ2）および実際の床板の固定状態を想定し、PC鋼棒で両端を固定した固定梁形式（シリーズ3）の3シリーズとした。

シリーズ1は、モデル床板に寸法を近似させた単純梁形式とし、シリーズ2、3では大きな水平せん断力を想定し有効スパンが短い（2.5mm）試験体で計画した。

5.2 試験体および使用材料

試験体一覧を表-5に、試験体の配筋状況と薄型シャーコッターなどの位置を図-9に示す。

シリーズ1の試験体の主変動因子は、端部モーメントの有無とした。端部モーメント有では床板に0.86tm、モーメント無では0.04tmのモーメントを両端の跳出し梁により試験体に付与している。

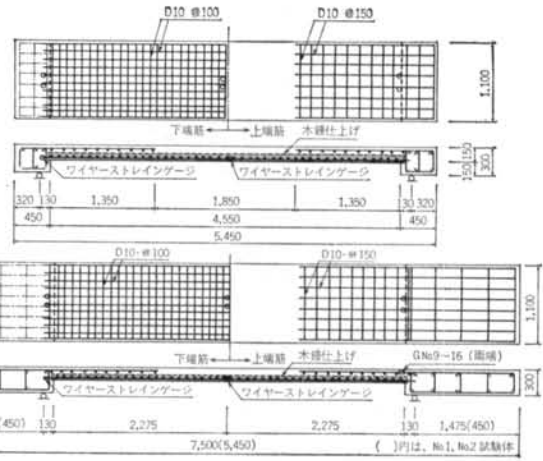


図-9(a) 床板の曲げ試験体（シリーズ1）

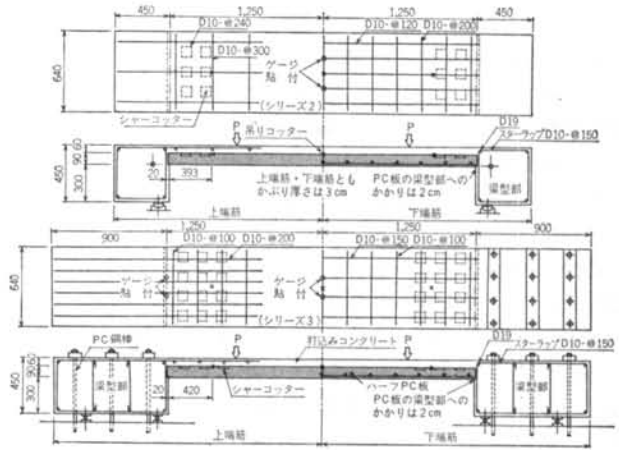


図-9(b) 床板の曲げせん断試験体（シリーズ2、シリーズ3）

シリーズ	試験体内容				初期剛性		初期ひびわれ時荷重		端部降伏時荷重		中央部降伏時荷重		破壊時							
	記号	片側のコッター数	コッター深さ(mm)	吊りフック数	有効スパン(mm)	その他	試験値(t/mm)	計算値(t/mm)	試験値(ton)	計算値(ton)	試験値(ton)	計算値(ton)	試験値(ton)	計算値(ton)	荷重(t)	破壊状況				
1.単純支持	Na1	在来一体打ち床板			4,550	M_1^* コッター無	0.43		0.98	0.32	0.12	2.67	—	—	3.77	2.91	1.16	3.96	曲げ	
	Na2	全面木理仕上げ・剝離剤無		0.42				0.95	0.19	1.58		—	—	3.91	1.34		4.03	曲げ		
	Na3	在来一体打ち床板					M_2^* コッター無	0.53		1.20	1.10	1.54	0.71	—	—	4.62	4.33	1.07	4.64	曲げ
	Na4	全面木理仕上げ・剝離剤無		0.47					1.07	1.01	0.66		—	—	4.58	1.06		4.66	曲げ	
2.単純支持	Na5	在来一体打ち床板			2,500	PC板上面に剝離剤塗布	1.85		1.49	1.75	1.38	1.27	—	—	3.99	3.07	1.30	4.01	曲げ	
	Na6	6	8	0			1.42	1.24	1.15	1.09		0.79	—	—	**		—	3.18	曲げ	
	Na7	6	8	3			1.77		1.43	1.15		0.83	—	—	3.80		1.24	4.34	曲げ	
3.固定支持	Na8	在来一体打ち床板			2,500	PC板上面に剝離剤塗布	5.21		0.47	4.46	2.65	1.68	9.98	1.53	12.08	15.73	0.77	14.8	曲げ	
	Na9	12	8	0			4.08		0.36	1.48		0.56	10.98	1.68	9.63		0.61	13.5	曲げ	
	Na10	12	8	3			3.62	11.2	0.32	3.56		1.34	10.87	6.53	1.66		11.97	0.76	12.9	曲げ
	Na11	12	4	3			4.08		0.36	1.34		0.51	7.57	1.16	—		—	7.57	支圧	
	Na12	6	8	3			3.62		0.32	0.35		0.13	8.80	1.35	—		—	9.01	支圧	

*): 試験体端部に $M_1=0.04\text{tm}$, $M_2=0.86\text{tm}$ の逆モーメントを付加している。**): 計測不能を示す。

表-5 試験体および試験結果一覧

シリーズ2, 3の試験体の主変動因子は、薄型シャーコッターの数と深さ, 吊りコッターの有無である。ハーフPC板の梁部へののみ込み深さは2cmとし, PC板上面に剝離剤を塗布し接合面での付着の影響をなくした。

試験体に使用した材料の内容を表-4に示す。

5.3 試験方法

加力位置と測定方法を図-10に示す。すべて2点集中載荷方式である。載荷重は10トンのロードセルで検出し, 変位量は電気式変位計を使用して計測し, 鉄筋の降伏はひずみゲージにより確認した。

5.4 試験結果および検討

試験結果を表-5に示す。荷重 P と床板中央部の変形 δ との関係を図-11に示す。ここで, 荷重 P は床板自重と加力治具の重量(約100kg)を除いている。試験の結果から, 以下のことが分かった。

(a) シリーズ1 (付着力により合成した床板)

No.1, No.2, No.3, No.4試験体はすべて曲げ破壊であった。在来一体打のNo.1, No.3試験体と合成床板のNo.2, No.4試験体は剛性, 耐力, 終局に至る挙動においてほぼ同一の挙動を示した。すなわち, まず試験体の中央部下面に曲げひびわれが発生し, 漸次成長し, 合成床板においては各試験体の側面で合成接合面に達したひびわれが接合面で水平滑りを起こさず, 打込みコンクリート側に進んでいった。また, すべての試験体において床板中央部の下端鉄筋が降伏した後も, 床板上面にコンクリートの圧壊等は見られなかった。

(b) シリーズ2 (単純梁試験)

一体打の床板No.5試験体は典型的な曲げ破壊であった。一方, 吊りコッターがないNo.6試験体はハーフPC板と打込みコンクリートとが試験の初期から剝離しており, 降伏荷重に達する以前に最大荷重に達した。

吊りコッターを有するNo.7試験体は, No.5試験体と降伏荷重および最大荷重ともほぼ一致している。No.7試験体は変形状態において比較的優れており, 中央部の変形が約60mmまではNo.5試験体と同等の性状を示した。

(c) シリーズ3 (固定梁試験)

一体打床板No.8試験体は典型的な曲げ破壊であった。吊りコッターを有するNo.10試験体はNo.8試験体とほぼ同等な降伏および最大耐力があり, 一体打床板としての計算値ともほぼ一致している。吊りコッターがないNo.9試験体は最大荷重はNo.8試験体とほぼ同等であり, 中央部が降伏した後端部が降伏した。なお, No.9試験体は中央部変形が約30mmに至るまで耐力低下を生じなかった。

吊りコッターが最大耐力に及ぼす効果はあまり見られないが, 単純梁試験と同様に変形状態に及ぼす効果は明らかであり, No.10試験体では中央部の変形がNo.9試験体

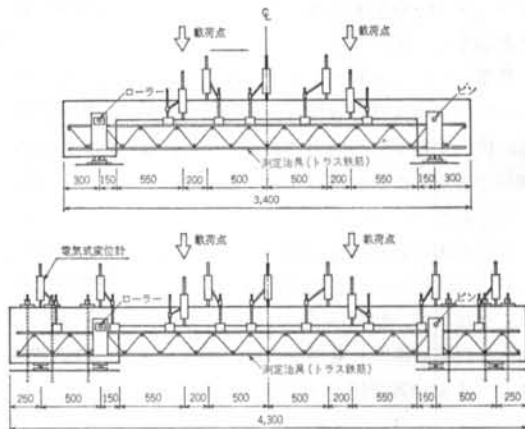


図-10 床板の曲げせん断試験方法

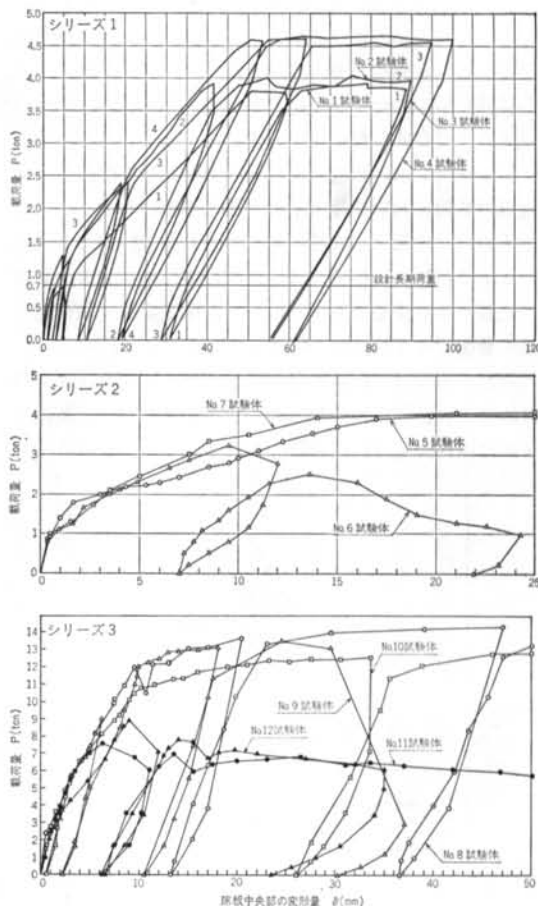


図-11 床板の曲げ試験結果

の約2倍に達するまで耐力は低下せず、No.8試験体とほぼ同等の挙動を示した。

なお、No.9, No.10, No.11およびNo.12試験体での終局的なハーフPC板端部のせん断応力度は、床板全断面を有効としても短期許容せん断応力度を上回っていた。

薄型シャーコッターが4mmであるNo.11試験体と数が少ないNo.12試験体は合成接合面が剥がれ、No.9, No.10試験体に比べて約1/2の耐力である。なお、梁へののみ込み部分で破壊した試験体はなかった。

(d)初期剛性とひびわれ

周辺を固定した床板の初期剛性は、表-5から分かるように一体打床板と各合成床板との間に大きな差異は認められないが、初期ひびわれに関して一体打床板No.8試験体と同等の性能をもつものは、吊りコッターの効果が見られるNo.10試験体のみであった。

5.5 試験結果の考察

シリーズ1, 2のほとんどの試験体は曲げ破壊した。シリーズ3では、曲げ破壊に至る以前にシャーコッターが破壊したと思われるものがある。そこで、シリーズ3の試験結果について以下に考察する。図-12に、シャーコッターで合成した床板の耐力に関するモデルを示す。

第1ゾーンは、床板の合成接合面が完全に離反し、2枚板の状態において最大耐力が決まる範囲を示す。構造モデルは2枚板とも両端が固定で、荷重点位置でピン接合し、2枚板への荷重の分配は剛性の比率による。破壊は鉄筋が断面中心より下側にあり、剛性が高く荷重を多く負担する下層床板の端部上端で生じる。

第2ゾーンは、床板の合成接合面のシャーコッターの破壊により合成床板の耐力が決まる範囲を示す。構造モデルは両端固定で、床板は両端部のシャーコッターのみ

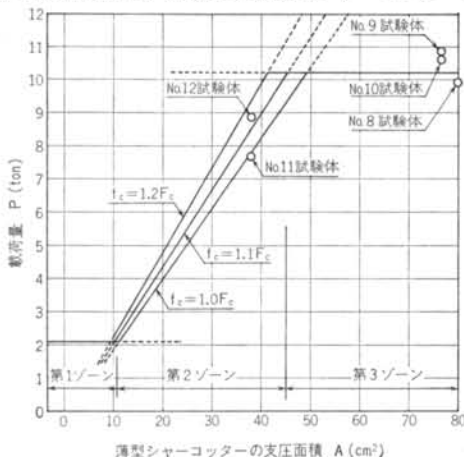


図-12 薄型シャーコッターの支圧面積と載荷重のモデル

で合成しており、それ以外は完全に剝離しているものとした。図中に複数のモデルがあるのは、シャーコッターの支圧耐力を変化させたことによる。

第3ゾーンは、シャーコッターのせん断耐力が床板の曲げ降伏を上回り、床板が曲げ降伏により決まる範囲を示す。このときの構造モデルは、一体打床板と同じとした。

図中に、シリーズ2の試験結果を示す。なお、一体打床板は80cm²以上の支圧面積をもつものと仮定している。

多くの床板は曲げにより最大耐力に至っており、第1ゾーンや第2ゾーンの低位での結果が少ないが、深さ4mmの薄型シャーコッターNo.11の試験体は支圧耐力を1.0Fc程度としたとき、また深さ8mmの薄型シャーコッターを少なく配置したNo.12試験体は1.1Fc程度としたときほぼ床板の耐力に関するモデルに合致している。曲げとせん断応力を同時に受けた薄型シャーコッターの耐力は、直接せん断試験における場合よりもやや低下しているが、接合面の設計方法の提案はおおむね妥当であるといえる。

本試験から、提案した設計方法により深さ8mmの薄型シャーコッターを設計上の必要量を配置すれば、床板は一体打床板とほぼ同等な剛性、降伏耐力および最大耐力を期待できる合成床板となることが明らかとなった。

§ 6. 合成床板の長期クリープ試験

6.1 試験の目的

薄型シャーコッターで合成した床板が長期間荷重を受けた場合の挙動と、接合面に配置したシャーコッターや吊りコッターがその挙動に与える影響を試験により把握し、床板として支障がないかどうかを明らかにすることを目的とした。

6.2 試験体および使用材料

試験体の内容を表-6に、試験体の形状や寸法を図-13に、また試験で使用した材料試験結果を、表-4に示す。荷重期間は一年間とした。

6.3 試験方法

荷重方法および測定方法を図-14に示す。荷重量は、表-2に示すモデル床板のT.L 700 kgf/m²から自重を差し引いた分とした。また、シャーコッターの数はコッターが支圧破壊あるいはせん断破壊する場合を想定し、長期許容耐力を支圧破壊でFcの2/3、せん断破壊でFcの

2/30として求めた。コッターの効果を明確にするため、PC板上面を金鍍で均し剥離剤を塗布した。また、シャーコッターの深さが4mmのもの、接合面全面を木鍍均しとしたものも併せて試験した。なお、加力には重量ブロックを使用した。

計測の内容や位置は、合成床板の曲げせん断試験に準じて行なっている。床板変位量と梁部回転変位量を測定

するため、試験体の両側部で個々に電気式変位計を配置し、また合成接合面のずれやひらきおよび主筋方向の伸縮量を測定するためにコンタクトゲージを貼り付けた。ずれに関しては対角の変位の平均値を相対ずれとした。さらに、床板中央下端および端部上端の鉄筋の曲げひずみを測定するため鉄筋計を配置し、試験時には温度と湿度を計測した。

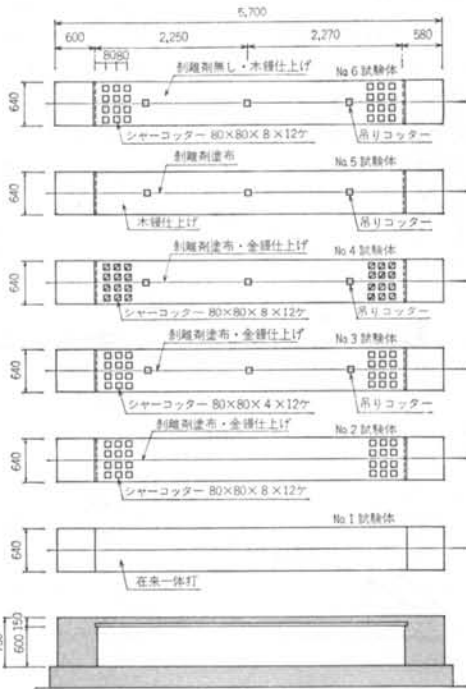


図-13 長期載荷クリープ試験体

6.4 試験結果および検討

試験結果の概要を表-6に、また床板中央部の一年間のたわみ量の推移を図-15に、載荷時のたわみ変化を図-16に示す。また、床板の挙動が顕著に現われた時期(132日目)までにおける床板中央部のたわみ量の差、および接合面の層間ずれ量とひらき量について図-17~図-21に示す。

この試験結果から、以下のことが明らかになった。

(a) 床板中央部のたわみ量の推移

一体打床板であるNo.1試験体と、深さ8mmのシャーコッターを必要量配置したNo.3, No.6試験体のたわみ挙動

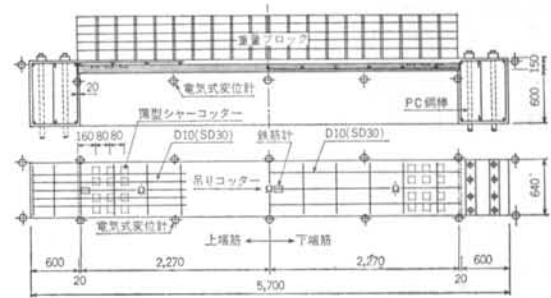


図-14 床板の長期載荷試験の載荷と計測方法

No	試験体内容			中央部のたわみ (mm)			接合面のずれ ($\times 10^{-3}$ mm)			接合面ひらき ($\times 10^{-3}$ mm)			最大ひびわれ ($\times 10^{-3}$ mm)				
	シャーコッター	吊りコッター	PC表面処理	δ_0	δ_1	δ_1/δ_0	端部	1/6	1/3	中央	端部	1/6	1/3	中央	端部	中央	端部
No.1	在来一体打	—	—	1.70	16.1	9.47	1	3	1	1	47	47	49	42	344	133	161
No.2	深さ8mm 12個(片側)	0	金鍍仕上げ 剥離剤塗布	4.42	34.4	7.78	21	1210	1016	307	13	1331	1804	149	106	588	177
No.3				2.69	24.2	8.99	43	140	258	43	10	52	7	2	206	199	317
No.4	深さ4mm 12個(片側)	3	木鍍仕上げ 剥離剤塗布	2.88	54.9	19.1	1643	1617	1393	82	1836	1901	1584	76	513	296	386
No.5	0	0		1.92	41.8	21.8	580	467	431	12	755	494	788	30	374	231	335
No.6	深さ8mm 12個(片側)	3	木鍍仕上げ 剥離剤なし	1.83	11.6	6.34	2	11	2	1	35	0	30	32	386	97	184

δ_0, δ_1 : 載荷時たわみ、一年経過時の床板中央たわみ量を示す。また、No.1試験体の接合面のずれとひらき値は、合成床板と同位置での計測値を示す。

表-6 試験体および試験結果一覧

は、図-15に示すように比較的安定して推移している。一方、シャーコッターの支圧面積が少ないNo 2試験体や吊りコッターがないNo 4試験体は、たわみが大きくなっている。また、PC板上面が木鋸均しのNo 5試験体は、初期は一体打床板と同等の性能を示すが、85日~132日の間に接合面にずれが発生し、急速にたわみが増大している。

(b)長期荷重載荷時の床板のたわみ変化

長期荷重用総重量1000kgfを5分割して200kgfずつ等分布となるように載荷し、その間のたわみ変化を図-16に示す。No 1, No 5, No 6試験体はほぼ同様な挙動をし、接合面に剝離剤を塗布したNo 2, No 3, No 4試験体とは明らかに性状を異にしている。No 3とNo 4試験体はシャ

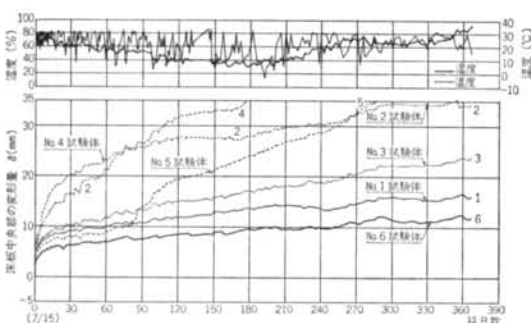


図-15 床板中央部たわみの推移

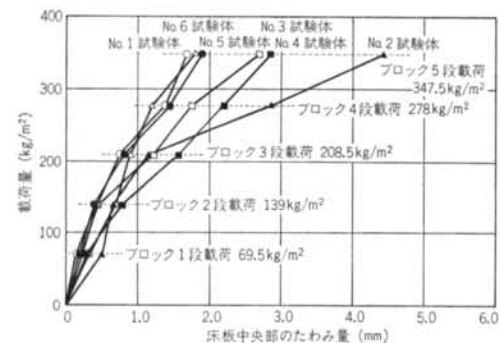


図-16 載荷時のたわみ

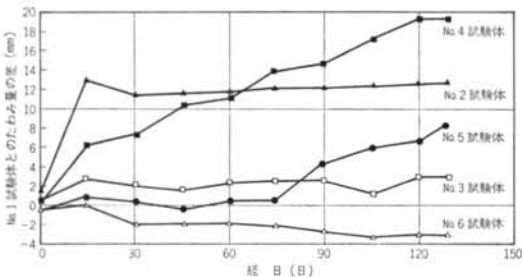


図-17 No.1試験体に対する中央たわみの量の差

ーコッターの深さの差, No 2とNo 3試験体は吊りコッターの有無の差が明らかとなった。No 2試験体は載荷時から界面剝離を起こし、合成床板としての剛性を発揮できず、曲げひびわれを発生し、大たわみを生じることになった。

(c)一体打床板に対する合成床板の中央たわみ量の差

図-17に示すように、設計上必要量のシャーコッターを配置したNo 2, No 3, No 6試験体と、その他のNo 4, No 5試験体は明らかに性状を異にしている。No 2, No 3, No 6試験体では載荷初期に中央たわみ量に差が生じたものの、その後は増大することなく推移し、シャーコッターが長期クリープたわみに対して効果的に作用したものと考えられる。一方、シャーコッター量が不十分な試験

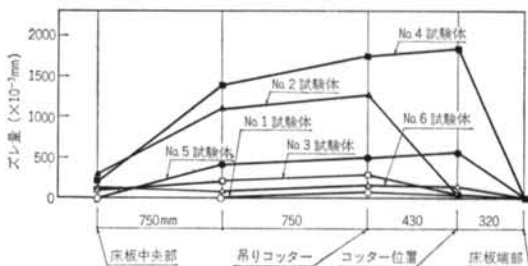


図-18 合成接合面のずれ量 (132日目)

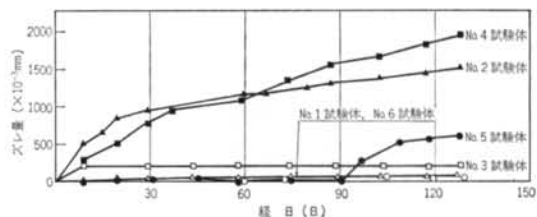


図-19 ずれ量の経日変化

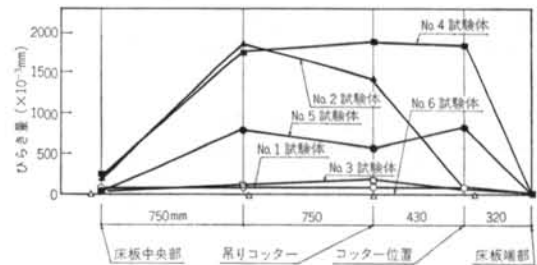


図-20 合成接合面のひらき量 (132日目)

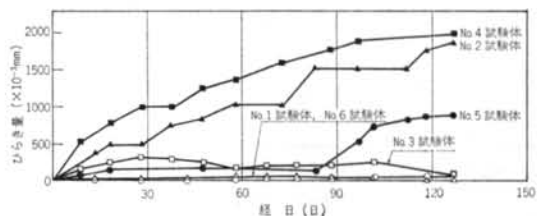


図-21 ひらき量の経日変化

体は、接合面でのせん断抵抗力の不足から時間の経過とともに中央たわみ量の差が増大し続けている。

(d)合成接合面の層間ずれ

合成接合面のずれに対する抗力には、シャーコッターや吊りコッターおよび木鋸均し面の付着力がある。ずれ量をこれらの配置箇所で見ると、図-18に示すようにシャーコッター位置では8mmのシャーコッターの効果が最も大きく、4mmではあまり期待できない。また、木鋸均し面は8mmと4mmの中間にある。吊りコッター位置ではその効果が認められるもののNo.4試験体ではシャーコッター4mmの影響が大きく、吊りコッターが有るにもかかわらず大きなずれを発生している。床板の中央部でのずれの差は少ないが、その近傍ではコッター4mmおよび吊りコッター無しの影響が大きく現われた。

ずれ量の経日変化を図-19に示す。No.1, No.3, No.6試験体ではずれ量が経日とともに成長せず安定しているが、コッター4mmのNo.4試験体は常に成長を続け吊りコッター無しのNo.2試験体は初期に、木鋸均しのNo.5試験体は90日経過した後の一定期間の間に急速に成長した。

(e)合成接合面の層間ひらき

図-20に各位置での合成接合面のひらき量を示す。ひらき量はずれ量とほぼ同様の傾向を示し、合成床板の層間ずれによりひらきが誘発されていると思われる。

8mmのシャーコッターはずれに対して極めて有効であり、層間ひらきがほとんど見られないが、4mmではひらきを止める抗力は小さい。また、吊りコッター無しよりもシャーコッター4mmの方がずれ量が大きく、シャーコッターの深さの影響がこの位置でも大きく作用していると思われる。図-21にひらき量の経日変化を示す。ずれ量の経日変化とほぼ同様な傾向を示している。

6.5 試験結果の考察

本試験から、深さ8mmの薄型シャーコッターを合成接合面の水平せん断力に対して必要量を配置した合成床板は、長期間の載荷により大きなたわみを生じることはないことが明らかになった。結果の考察を以下に示す。

(a)接合面に剝離剤を塗布した試験体は、実際の床板では経年により接合面の全面にわたって剝離が進んだ場合の想定であり、本試験により合成床板がそこに至る過程の性状が明らかとなった。すなわち、合成床板は接合面全面にわたって剝離が広がるまでは一体打床板と同等の性能を示すが、それ以降剝離が広がった後は、接合面の水平せん断力に対して必要量を配置した深さ8mmの薄型シャーコッターがせん断抵抗し、No.3試験体のように一体打床板に対して約1.5倍のたわみを維持してゆく。

(b)周辺を固定した一体打床板の弾性たわみ計算値に対する長期たわみの倍率は、既往の研究では12~18程度であり、本試験の結果でこの範囲内にあるものは表-6に示すようにNo.1, No.3およびNo.6試験体である。また、周辺を固定した床板のたわみ限界値を $l_x/250 \sim l_x/400$ とし、長期たわみ量に対する一年後のたわみ量の比率を70%程度と仮定すると、本試験体は $l_x=454\text{cm}$ であり、一年間を経過した後にたわみ量が $(l_x/250 \sim 400) \times 0.7 = 1.27 \sim 0.79\text{cm}$ 以下である床板はNo.6試験体のみである。

また、小柳らが提案している長期たわみの予測提案式により計算した長期予想たわみ量に、長期たわみ量に対する一年後のたわみ量の比率を70%程度と仮定した長期予想たわみ量は16.8mmであり、この値よりも少ないたわみ量を示した試験体はNo.1およびNo.6試験体である。

以上から、合成接合面の水平せん断力に対して必要量の深さ8mmのシャーコッターを配置し、接合面の付着力を確保する施工上の十分な配慮をすれば、合成床板はたわみの限界値を満足すると考えられる。

§ 7. 合成床板の評価とまとめ

建設工事現場の合理化を目的に、筆者らは大型ハーフPC合成床板工法を開発したが、その合成方法については既往の研究例がなく未知の分野であった。

そこで、薄いシャーコッターなどのせん断力伝達性能を確認した後、従来の一体打床板と比較しながら合成床板の曲げせん断耐力、変形性状、破壊性状や長期間載荷時の性状などについて試験を行なった。これらの試験では、合成接合面を金鋸で仕上げ、剝離剤を塗布して付着力の効果をなくすことを基本とした。

本試験により、合成接合面に生じる水平せん断力 Q に対してシャーコッターの許容支圧応力度 $\alpha F_c = F_c/3$ 、許容せん断応力度 $\alpha F_s = F_c/30$ から得られる許容耐力の小さい方から求めた必要量の薄型シャーコッターを配置することによって、合成床板は一体打床板とほぼ同等の最大耐力を発現できることが認められ、さらに最大耐力に関しては吊りコッターによる効果が見られないことや、コンクリート接合面の付着力はその面の状態の定量化が困難であることから、構造設計上は先述した設計の考え方にに基づき、薄型シャーコッターのみにより水平せん断力を伝達できるよう設計することが必要であると考えられる。しかし、合成床板の剛性や短期・長期にわたる変形性状については吊りコッターや接合面の付着による効果が顕著であり、その位置および状態についての

施工上の十分な配慮が併せて必要であることが認められた。以上を考慮して設計された合成床板は、従来の一体打床板とほぼ同等の性能を保有していることも実験から明らかとなった。

本研究で得た知見は床板のほか、柱、梁、壁、階段およびバルコニーなどの部位のハーフ PC 合成構造の研究に役立つものであり、今後建設工事現場の合理化に大きく寄与できるものと考えられる。

<参考文献>

- 1) W. F. Chen: "Plasticity in Reinforced Concrete" McGraw-Hill International (1982)
- 2) K. Hansen, et al.: "Design of Vertical Keyed Shear Joints in Large Panel Buildings" Building Research & Practice, Vol. 2, No. 4 (1974)
- 3) 黒正清治, 松崎育弘, 小林克己, 高田博尾: "合成床板 (PICOS) の構造性能に関する研究 (その1) ~ (その4)" 日本建築学会大会学術講演梗概集 (1983年)
- 4) 松本進: "プレキャスト PC 素材で補強したコンクリート合成構造の力学的特性に関する基礎研究" 土木学会論文報告集 第246号 (1976年)
- 5) 黒正清治: "プレキャストコンクリート構造接合部耐力に関する研究" 日本建築学会論文報告集 No. 89 (1963年)
- 6) J. A. Hofbeck, I. O. Ibrahim & A. H. Mattock: "Shear Transfer in Reinforced Concrete" Journal of ACI, Vol. 66, No. 2 (1969) pp. 119~128
- 7) 青柳征夫: "せん断伝達機構とその設計上の取り扱い" コンクリート工学 Vol. 20, No. 12 (1982年)
- 8) H. Takada, et al.: "New Composite Slab System by Large Scale PC Panel Cast in Site" Proc. of 13th IABSE Congress in Helsinki (1988)
- 9) 日本建築学会論: "プレキャスト鉄筋コンクリート構造の設計と施工" 日本建築学会 (1986年)
- 10) 小柳光生, 他: "拘束スラブの長期たわみに関する研究" コンクリート工学 Vol. 23 (1980年)
- 11) ACI, Committee 318: "Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete" ACI (1983)