

(28) PC合成床スラブの長期たわみ性状と経年変化の影響

(株)富士ピー・エス 正会員 ○ 山田 宏至  
 長崎大学 小森 清司  
 (株)富士ピー・エス 正会員 田中 恭哉

1. はじめに

プレストレスを導入したプレキャスト板(以下PC板という。)を埋設型枠とし、その上に場所打ちコンクリートを打設したPC合成床スラブの長期たわみ性状を調査する目的で試験体を4体作製し、過去13年間に渡り継続測定してきた。実験の途中経過については、すでに数回の中間報告<sup>1)~4)</sup>を行っているが、現状ではたわみがほぼ収束したとみなせる状態になったので、本報ではその成果の最終報告を行う。また長期載荷後の短期的な諸性状を検証する目的で、さらにこれらの試験体で短期載荷実験を行い、経年変化に伴う諸性能の劣化について検討したので報告する。

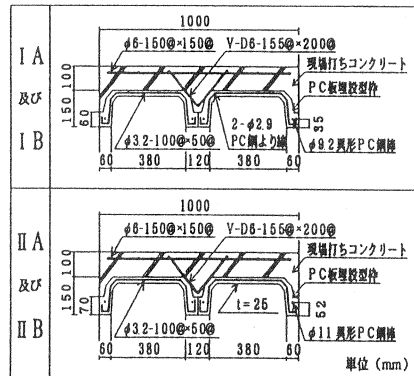


図1 試験体断面図

2. 過去13年間に渡る長期たわみ性状

2.1 試験体の概要

図1に試験体の断面詳細、図2に試験体および実験方法、表1にコンクリートの性質、表2にPC鋼材および溶接金網の性質、表3に導入プレストレスをそれぞれ示す。試験体は、スパン5.60mの両端固定スラブ4体であり、PC鋼

表1 コンクリートの性質

PC板用コンクリート			現場打ちコンクリート		
材令 (日)	圧縮強度 Kg/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 Kg/cm <sup>2</sup>	材令 (日)	圧縮強度 Kg/cm <sup>2</sup>	ヤング係数 Kg/cm <sup>2</sup>
2 9	5 5 4	2.5×10 <sup>4</sup>	2 8	1 7 8	1.9×10 <sup>4</sup>
2 1 1	6 7 7	2.8×10 <sup>4</sup>	2 1 0	2 0 7	2.0×10 <sup>4</sup>
3 6 5	6 4 1	2.8×10 <sup>4</sup>	3 6 5	2 1 3	2.1×10 <sup>4</sup>

但し、供試体はすべて現場養生、ヤング係数は E'<sub>1</sub> とする

表2 鋼材の性質

	PC 鋼 棒	PC鋼より線	溶接金網
直径 (mm)	φ 9.2 φ 11	2-φ 2.9	φ 6
断面積 (mm <sup>2</sup> )	64 90	13.21	22
σ <sub>y</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	130 130	175	>40
σ <sub>m</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	145 145	195	>50

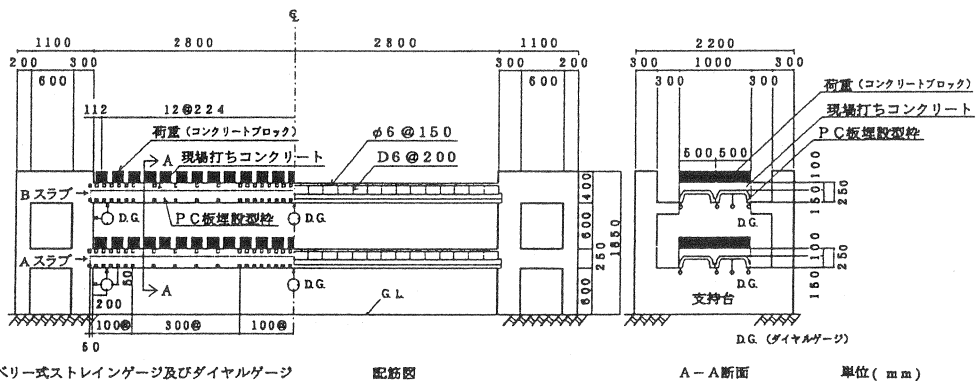


図2 試験体と実験方法

材径の違いにより I 型、II 型の 2 種類に、施工時のオーバーロードを想定した PC 板下面のひびわれの有無により A タイプ、B タイプの 2 種類の計 4 種類に分類される。詳細は、文献<sup>1)・2)</sup>を参照されたい。

2. 2 実験方法

長期載荷荷重は、仕上げ荷重を 60kgf/m<sup>2</sup>、積載荷重を 180kgf/m<sup>2</sup> の合計 240kgf/m<sup>2</sup> とし、図 2 に示すようにコンクリートブロック (15×15×52cm、平均 27kgf/块) をスパン全長に渡り均等に載荷した。実験日程は実際の施工工程を模擬し、PC 板製作後 28 日で場所打ちコンクリートを打設し、その後 8 日目に仕上げ荷重を載荷し、15 日目に積載荷重を載荷し、以降 13 年間その状態を継続した。

2. 3 測定方法

図 2 に示すように、端部およびスパン中央のたわみはダイヤルゲージと水系で、試験体側面のひずみはベリ式ストレインゲージとノギスで測定した。また床スラブの固有振動数は、小型加速度計をスラブ下面に貼付して測定し、PC 鋼材のひずみはワイヤーストレインゲージで、温度および湿度は乾湿度計で測定した。

2. 4 実験結果および考察

1) ひびわれ

床スラブ上面のひびわれは、A タイプでは I、II 型とも経過日数約 100 日でスラブ両端に発生し、載荷後約 800 日でひびわれ幅 0.5mm となり、その後も徐々に増加した。(文献<sup>5)</sup> 図 3 参照) 合成床スラブの上端筋比は  $A_s/B \cdot d_s = 0.09\%$  と非常に少なく、ひびわれ幅の増加から判断し、上端筋による端部断面の補強効果はほとんどなかったものと推測された。一方 B タイプでは、A タイプとは対照的にひびわれは観測されなかった。また床スラブ下面のひびわれは、プレストレスの効果により 4 体とも新しいひびわれは発生しておらず、さらに、試験開始前に B タイプだけに発生させたひびわれも目視できない程に小さく閉じていた。

2) 固有振動数

4 体とも合成床スラブ完成時は、21Hz と両端固定の計算値 23Hz に近い値を示していたが、積載荷重を載荷すると 16Hz 近くまで低下した。また、A タイプは経過日数約 100 日目に床スラブ両端にひびわれが発生したため、それ以降は固有振動数が次第に低下し 1209 日目には 11~13Hz となった。しかし、端部にひびわれが発生しなかった B タイプでは、固有振動数はほとんど低下していない。また、積載荷重を除荷すると固有振動数はわずかではあるが回復した。

表4 固有振動数の経年変化

		単位 (HZ)									
		26	26	32	36	42	55	438	906	1252	4683
現場打ちコンクリート材令(日)		-----	-----	4	8	14	27	410	878	1224	4655
測定状態		PC板 単体	PC板に ひびわれ 発生後	スラブ合 成後 4日目	仕上荷重 載荷前	積載荷重 載荷前	積載荷重 載荷後 12日目	積載荷重 載荷後 395日目	積載荷重 載荷後 863日目	積載荷重 載荷後 1209日目	積載荷重 除荷後 4640日後
試験体名											
I A		10.6	-----	20.1	20.0	19.7	15.9	14.0	13.9	12.8	13.6
I B		8.4	8.2	21.1	21.3	19.6	16.0	16.0	16.4	16.2	20.1
II A		10.3		21.2	21.1	19.6	15.2	13.2	13.3	11.3	14.6
II B		8.4	8.4	21.4	21.0	19.6	16.2	16.0	16.5	16.1	18.5
支持状態		単純支持 (PC板)			両端固定 (合成スラブ)						
載荷状態		無載荷			60kgf/m <sup>2</sup>	60kgf/m <sup>2</sup> (仕上荷重)+180kgf/m <sup>2</sup> (積載荷重)				無載荷	

3) 長期付加たわみ

実験結果と計算結果を表5に、経過日数と長期付加たわみの関係を図3に示す。長期付加たわみの計算値は、以下の仮定に基づいて計算した。

① 試験体材端の支持条件は、ひびわれ幅の増加状況をふまえAタイプは単純支持、Bタイプは固定支持と見なす。

② クリープ係数および乾燥収縮度の最終値は、CEB-FIP 国際指針に従い算定する。

③ 増加曲率の計算は、坂ら<sup>6)</sup>の提案式によることとし、その概要を図4に示す。

④ 長期付加たわみは、③の増加曲率を用い、モールの定理により計算する。

長期付加たわみの実験値は図3からわかるように、経過日数が1800日頃には一旦収束する傾向を示していたが、その後もわずかづつではあるが増加を続け、13年目にはII Bのたわみが5.9mm、I Bが6.8mm、II Aが8.0mm、I Aが9.8mmとなった。試験開始前にPC板にひびわれを発生させたI B、II Bの長期付加たわみは、それぞれI A、II Aの値より小さく、実験上長期付加たわみへの影響は認められなかった。次に計算値と比較すると、経過日数が1500日以前の場合は計算値が実測値に比べかなり大きな値を示しているが、その後は徐々に近づき、13年目には実測値/計算値が86%~118%の範囲に納まっている。端部にひびわれが発生せず固定条件が満たされる場合や材端の支持条件が単純支持に近い場合は、文献<sup>6)</sup>の提案式で長期付加たわみは十分推定可能である。

表5 長期載荷実験結果と計算値

	実験結果			計算結果			実験値/計算値		長期たわみ率 ②/④
	LLたわみ(mm) ①*1	付加たわみ(mm) ②	スパン比 ②/Lx	LLたわみ(mm) ③*2	全たわみ(mm) ④*3	付加たわみ(mm) ⑤	LLたわみ ①/③	付加たわみ ②/⑤	
I A	0.84	9.8	1/571	0.46	1.21	9.78	1.83	1.00	9.10
I B	0.68	6.8	1/824	0.46	1.21	5.77	1.48	1.18	6.62
II A	0.78	8.0	1/700	0.47	1.24	9.35	1.66	0.86	7.45
II B	0.52	5.9	1/949	0.47	1.24	5.07	1.11	1.16	5.76

\*1: 仕上げ・積載荷重を想定したコンクリート(240 kgf/m<sup>2</sup>)による弾性たわみ  
 \*2:  $\delta_{LL} = W_{LL} \cdot Lx^4 / 384 E_c I$  ( $W_{LL}$ : 仕上げ・積載荷重)による計算値  
 \*3:  $\delta_{ALL} = W_{ALL} \cdot Lx^4 / 384 E_c I$  ( $W_{ALL}$ : スラブ自重、仕上げ・積載荷重)による計算値

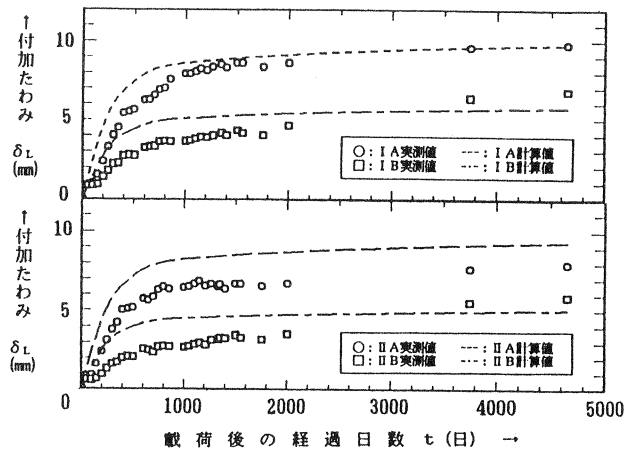


図3 長期付加たわみの経年変化

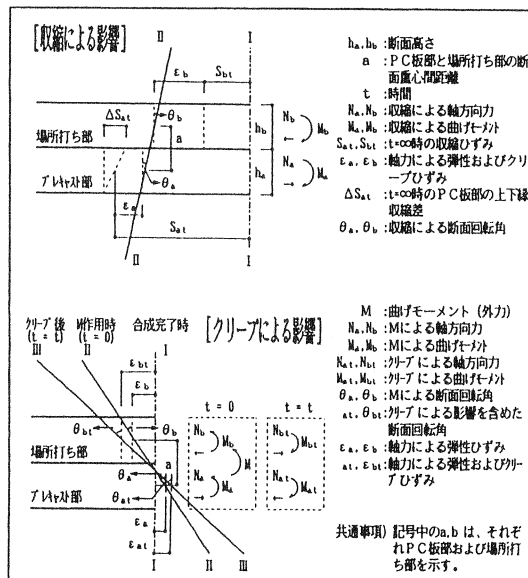


図4 クリープ、乾燥収縮の影響(文献<sup>6)</sup>より)

4) 弾性たわみに対する長期付加たわみの比 (以降長期たわみ倍率という。)

表5に長期たわみ倍率を示す。弾性たわみ計算値は、RC規準、付13<sup>7)</sup>に示されるRC床スラブの場合と対比できるよう全荷重が両端固定の合成断面に作用したものととして算定した。また長期たわみは、13年目の実測値と同弾性たわみ計算値との和とした。表5からわかるようにPC合成スラブの長期たわみ倍率は約6~9倍となった。このうち、値の大きい9.10と7.45は、1)で述べたように上端筋の補強効果が認められなかったIA、IIA試験体の値である。したがって、十分な上端筋を配置すれば、長期たわみ倍率は7程度以下になるものと推測される。

3. 長期載荷後の短期的な諸性状

3.1 試験体

試験体は、長期載荷実験に供したIA、IB、IIA、IIB試験体の4体とする。

3.2 実験方法

短期載荷実験は、長期載荷実験の仕上げ・積載荷重として用いたコンクリートブロックを取り除き、2週間放置した後行った。載荷は図5に示すように、スパンの3等分点の両側にH鋼で組んだ門型加力装置を設置し、それに10tfの油圧ジャッキ4基を取付け、加力ビームを介して床スラブ上面から4点加力を行った。載荷順序は、IB、IA、IIB、IIAとした。測定は、スパン中央部および端部のたわみを変位計で、試験体側面のひずみをΩゲージで、ひびわれ幅の拡大をクリップゲージで行った。

3.3 実験結果および考察

図6に荷重-たわみ関係を、表6に実験結果、計算結果およびその比を、図8に低荷重域におけるスパン中央部のひずみ分布を、図9に載荷実験後の最終ひびわれ状況を示す。

1) 荷重-たわみ関係

図6中に破線で示したPCM-1は、文献<sup>9)</sup>における短期載荷実験の結果を4体と比較するため再掲したものであり、同試験体の断面形状、使用材料の仕様、スパンなどはI型と同一である。同図からPCM-1に比べて4体とも最大荷重が大きく、かつ小さいたわみで最大荷重に達していることがわかる。これは、PCM-1とは異なり床スラブ端の水平拘束が大きく、たわみ増大に伴い床スラブ内に軸力が発生したためであると推察される。そのほか、IIBの初期剛性が特に小さい。これは、先に行ったIIAの載荷実験で床スラブ端のRCフレームが外側に広がり、IIB両端部に約2mmのひびわれが発生したが、この影響が低荷重域で現れたものと考えられる。結果的に荷重-たわみ曲線の形状は、PCM-1とかなり異なっているが、経日変化による劣化は特に認められなかった。

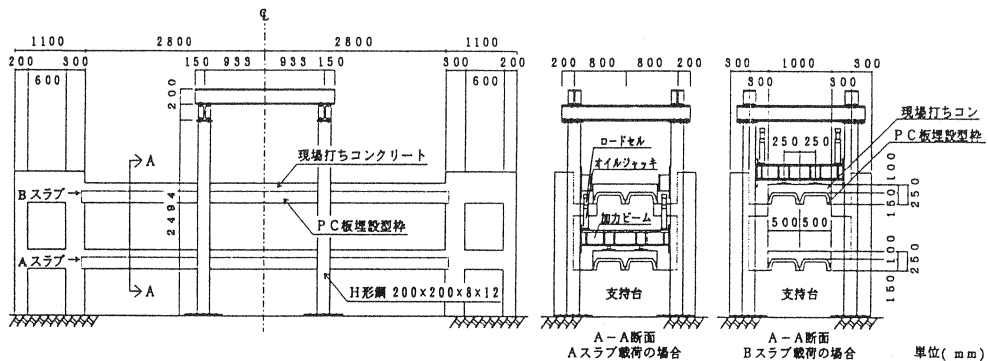


図5 試験体と載荷実験装置

2) ひびわれ強度

表6よりわかるように、ひびわれ発生荷重は材端を完全固定と仮定した計算値の89%、71%とやや低い。しかし、2.の長期載荷実験の仕上げ・積載荷重載荷時において測定されたたわみから推定した応力分布で計算すると、計算値はIAで4.43tf、IIAで5.87tfとなり、実験値/計算値は96%、121%となる。したがって、経年変化に伴うひびわれ強度の低下はほとんどないものと考えられる。

3) 最大強度

表6中にCAL1、CAL2の2種類の最大荷重計算値を示す。前者は、e関数法による値であり、後者は床スラブに作用する面内圧縮力を考慮した値である。後者の計算は、小森が提案<sup>9)</sup>した解析法によるもので、その概要を図7に示す。

同表によれば、最大荷重の実験値はI、II型ともにAタイプがBタイプより大きく、IAは16.40tf、IIAは18.05tfに達している。この値は、面内圧縮力を考慮しない計算値CAL1の1.66、1.63倍にあたりその差は大きい。またこれらの荷重-たわみ曲線は、小森が文献<sup>9)</sup>で明らかにしたような面内圧縮力発生による山形に近い荷重-たわみ曲線を示しており、1)で述べたように、床スラブ面内に軸力が作用し耐力増加が生じたものと推定される。そこで、実験値を面内圧縮力を考慮した計算値CAL2と比較すると、その比は1.05~1.11となりよい一致を示した。このことはひびわれ強度と同様、最大強度が経年変化によって劣化しなかったことを示唆している。

4) 合成効果

図8によると、各試験体のひずみは直線的に分布し、中立軸位置も計算値とほぼ合致していることがわかる。また、最大荷重はほぼ計算値と一致し、終局時打ち継ぎ面での不連続なひびわれも全く観察されなかった。よって合成効果は、終局時まで保たれていたと考えられる。

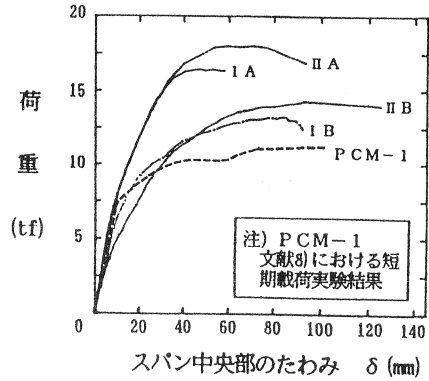


図6 荷重-たわみ関係

表6 短期載荷実験結果と計算値

試験体名	実験値(tf)		計算値(tf)		実験値/計算値			
	ひびわれ荷重(中央部)	最大荷重	ひびわれ荷重(中央部) <sup>*1</sup>	最大荷重	(中央部)			
					CAL1 <sup>*2</sup>	CAL2 <sup>*3</sup>	CAL1	CAL2
I A	5.37	16.40	6.02	9.86	15.59	0.89	1.66	1.05
I B	--	13.25	--	9.86	11.95	--	1.34	1.11
II A	5.64	18.05	7.99	11.05	16.59	0.71	1.63	1.09
II B	--	14.30	--	11.05	13.06	--	1.29	1.09

注) \*1:完全固定とした場合の計算値  
 \*2:e関数法による計算値(面内圧縮力を考慮せず)  
 \*3:面内圧縮力(A,Bタイプそれぞれ $\sigma_0(\delta)=24.7, 12.2 \text{ kgf/cm}^2$ )を考慮した計算値

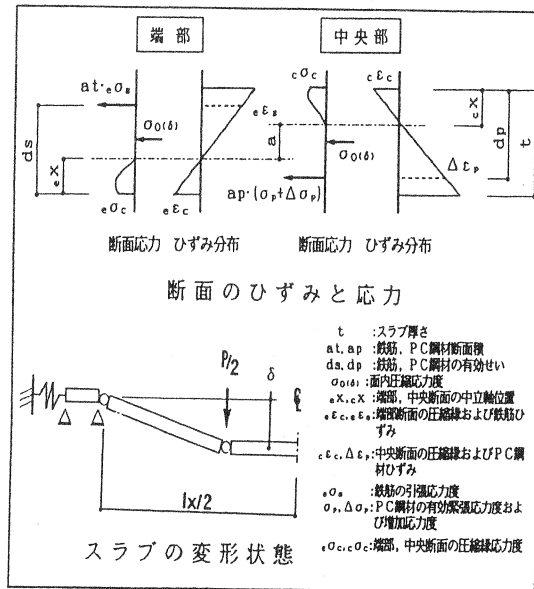


図7 面内圧縮力を考慮した計算法の概要

5) ひびわれ状況

図9は、II Aの最終ひびわれを示したものであり、残り3体もほぼ同様の状況であった。4体に共通して、両端部上面は幅太のひびわれが1~2本集中して発生し、載荷点間の下面では幅の細かいひびわれが、数多く分散していた。これらの特徴は、PCM-1と同じであり、顕著な差は認められなかった。

4. 結論

PC合成床スラブの13年間におよぶ長期載荷実験とその後の短期載荷実験により以下の結論が得られた。

- (1) 本実験における13年間の長期付加たわみは、最大で9.8mm、スパン比で1/157となり、RC規準のたわみ限界値 $Lx/250$ に比べ十分小さい。
- (2) PC合成床スラブの長期たわみ倍率は、支持条件が両端固定の場合7程度以下と考えられ、RC規準付13によるRC床スラブの同倍率の1/2以下になるものと予想される。
- (3) PC合成床スラブは、13年間の長期載荷実験後においても計算上の所定の各強度を保有し、合成効果も保たれていた。長期載荷の履歴のない試験体の短期載荷実験結果と比較しても性能上ほとんど遜色は認められず、経年変化による影響が少ないことがわかった。

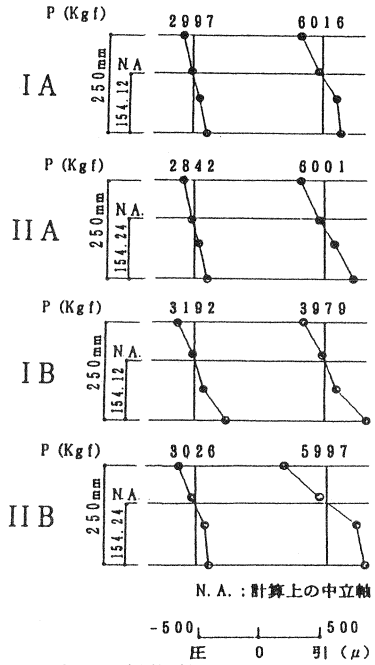


図8 低荷重域でのひずみ分布

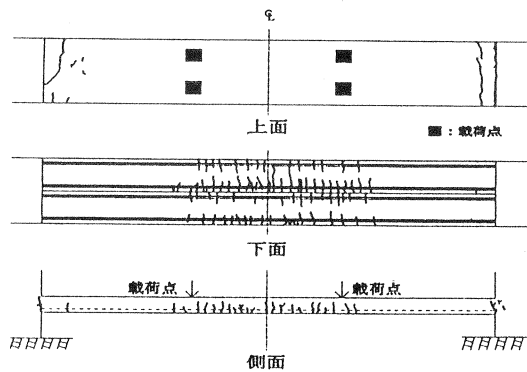


図9 最終ひびわれ状況

[参考文献]

- 1) 小森清司ほか: PC板埋設型枠を用いた合成床スラブの長期載荷実験、第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集、pp349-352、1981
- 2) 小森清司ほか: PC板埋設型枠を用いた鉄筋コンクリート床スラブの載荷実験(その2、長期載荷実験の中間報告)、日本建築学会学術講演梗概集、pp1393-1394、1981
- 3) 小森清司ほか: PC板埋設型枠を用いた鉄筋コンクリート床スラブの載荷実験(その3、長期載荷実験の中間報告)、日本建築学会九州支部研究報告、pp1393-1394、1982
- 4) 小森清司ほか: PC板埋設型枠を用いた鉄筋コンクリート床スラブの載荷実験(その4、長期載荷実験の中間報告)、日本建築学会学術講演梗概集、pp1397-1398、1982
- 5) 小森清司: [招待報告]合成コンクリートスラブの耐久性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol12、No.2、pp7-16、1990
- 6) 坂、岡田、六車共著: プレストレストコンクリート、朝倉書店、1961
- 7) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、1991
- 8) 小森清司ほか: PC板埋設型枠を用いた鉄筋コンクリート床スラブの短期載荷実験、日本建築学会九州支部研究報告、第27号、pp177-180、1983
- 9) 小森清司: 鉄筋コンクリートスラブの耐力とたわみ性状に関する研究(1)、日本建築学会論文報告集、第269号、pp61-71、1978.7