

(27) PRC造スラブの多数回繰り返し載荷実験

東急建設(株)技術研究所 正会員 ○山本 俊彦

1. はじめに

常時使用するスラブは積載荷重の影響が大きく、またその荷重形態も構造物の用途によって大きく変化する。そして、荷重の載荷除荷が何回か繰り返される場合、スラブの特性は大きく変化する。しかし、その性状は十分把握されておらず、現行の建築物の設計法ではほとんど考慮されないのが普通である。一方、たわみ制御を目的にPRC造スラブが用いられるが、繰り返し荷重に対するたわみ制御効果については、十分解明されていない。

このため、荷重が大きく変動し、かつ多数回繰り返されるスラブの性状を把握するための実験を行った。実験では、現実の構造物内のスラブに近い条件を考え、乾燥収縮による面内応力が生じるように拘束した。

2. 実験概要

2.1 試験体

実験に用いた試験体を図-1および表-1に示す。試験体はB、Cの2体で、Bは鉄筋コンクリート造、Cはプレストレスト鉄筋コンクリート造である。また、試験体は乾燥収縮によりスラブに面内力が生じるようH型鋼により拘束した。拘束率は、コンクリートのクリープ係数を3と想定し、スラブ・梁断面に対して0.4とした。スラブは、積載荷重 19.6 kN/m^2 、縮尺率 $1/2\sim 1/3$ 程度を想定し、スラブの大きさを $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 、厚さ 8 cm の周辺固定2方向板とし、周辺梁を $30\text{ cm}\times 68\text{ cm}$ とした。図-2に試験体の配筋を示す。スラブの曲げ主筋は $D6@100$ で、 $P_t=0.50\%$ 、梁主筋は $4-D16$ とした。図-3にPC鋼材の配線図を示す。PC鋼材はアンボンドPC鋼材を用いた。スラブのプレストレス量は、鉄筋による積載荷重負担と同じ量とし、 $3-\phi 2.9$ を6本配した。スラブの平均軸方向圧縮力は、 0.49 MPa となった。なお、梁にもスラブと同じ平均軸方向圧縮力 0.49 MPa を導入した。試験体は、コンクリート打設後7日間湿潤養生を行ない、その後型枠を脱型し実験室内に自然放置した。

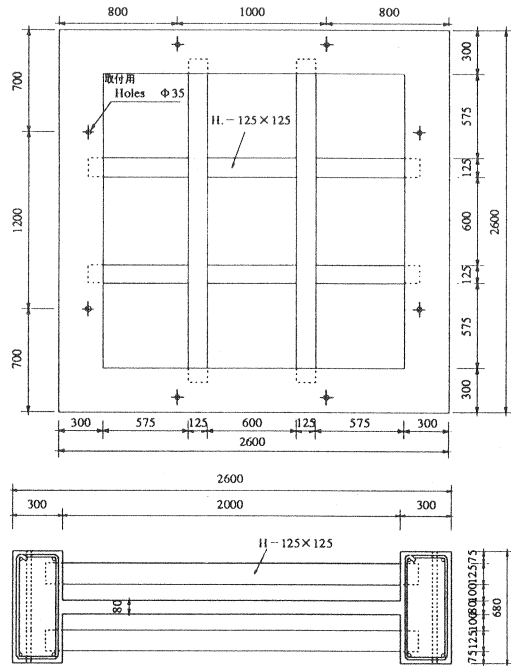


図1 B、C試験体

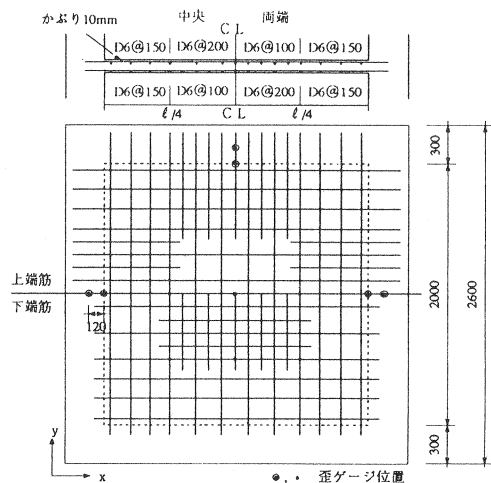


図-2 スラブ配筋図

表-1 試験体一覧表

試験体	スラブ形状(cm) (lxlyxt)	スラブ筋		スラブ拘束		PC鋼材	
		配筋	Pt(%)	鋼材(x,y共)	鋼材比(%)	配線	鋼材率
B	200×200×8	D6@100	0.50	4-H125	7.58	-	-
C	200×200×8	D6@100	0.50	4-H125	7.58	3-φ2.9@300	0.47

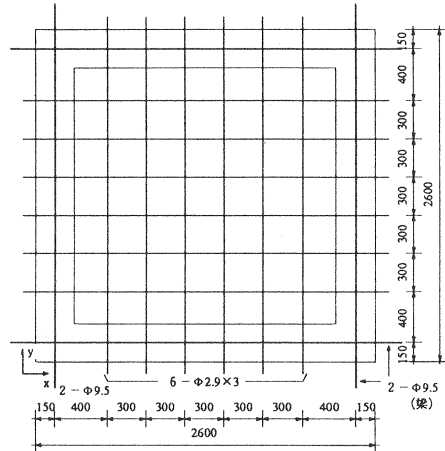


図-3 PC鋼材配筋図

2.2 使用材料

表-2にコンクリートの配合、表-3に強度試験結果を示す。コンクリートの圧縮強度は、実験時で23.2MPaであった。表-4に鋼材の機械的性質を示す。

2.3 荷重と繰返し回数

荷重は、変動荷重の上限として、積荷29.4KN程度のフォークリフト等が走行するスラブを想定し、スラブに作用する荷重を、衝撃荷重率0.5を考え、積荷で44.1KN、フォークリフトの輪荷重で54.0KNの集中荷重を考えた。実際の実験時の荷重は、縮尺率およびスラブに生じる曲げ応力を考慮して、変動荷重の最大値を24.5KNとした。スラブの曲げ応力等の計算値を表-5に示す。載荷面の大きさを10cm×10cmとし、スラブ厚さ方向45°に荷重が広がるものとした。たわみはコンクリート全断面有効とした弾性計算値である。24.5KNの荷重によるコンクリートの最大曲げ応力は3.79MPa、鉄筋応力は、226MPaである。これは、コンクリートの曲げ強度5.03MPaの約80%、鉄筋の長期許容応力度と同程度である。

繰返し回数は、1時間1~20回、1日実働7時間とし、30年で最大50~100万回程度を想定した。限界状態設計法では、使用限界状態、終局限界状態、疲労限界状態が考慮されるが、本実験では、道路橋等のように疲労破壊を直接対象とした繰返し回数ではなく、使用性の著しい変化を把握する事を目的とした。

2.4 実験方法

2.4.1 繰返し載荷実験

繰返し載荷実験の載荷位置、方法を図-4および表-6に示す。繰返し荷重は下限値を最大値の0.2として24.5KN(14.7±9.8KN)でsin波5Hzを原則とした。

表-2 コンクリートの配合

セメント(kg/m)	水(kg/m)	W/C(%)	細骨材(kg/m)	粗骨材(kg/m)	スラブ(cm)	粗骨材径(mm)
308	180	58.5	879	908	18	10

表-3 コンクリート強度

養生条件	材令(日)	圧縮強度(MPa)	曲げ強度(MPa)	割裂強度(MPa)
現場気中	176	23.2	5.03	2.17

表-4 鋼材の機械的性質

種類	降伏強度(MPa)	引張強度(MPa)	弾性係数(GPa)	伸び(%)
D6	423	539	182	15.0
3-φ2.9	1,880	2,010	201	9.0

表-5 試験体の曲げ応力および変形

荷重位置	荷重(KN)	コンクリート(MPa)	鋼材(MPa)	たわみ(mm)
1	24.5	3.79	226	0.534
2 and 6	24.5×2	3.61	215	0.259
3 and 7	24.5×2	3.03	181	0.446

表-6 繰返し載荷方法

試験体	1			2			3		
	荷重	載荷点	通算回数	荷重	載荷点	通算回数	荷重	載荷点	通算回数
B	24.5KN	各点*	250000	24.5KN	各点*	500000	24.5KN	1	550000
C	24.5KN	各点*	250000	24.5KN	各点*	500000	24.5KN	1	550000

*中央1点載荷, 他対角2点同時載荷

荷重の載荷は、載荷面積は10cm×10cmで、中央は1点載荷とし、その他の点は2点同時載荷とした。

2.4.2 振動数の測定

スラブの剛性低下を調べるため、繰返し載荷の各サイクル終了時に固有振動数の測定を行なった。

2.4.3 測定方法

試験体のスラブ、梁、拘束鋼材の歪み、PC導入軸力用ロードセル荷重およびスラブ載荷9点の変形を測定した。また、スラブ固有振動数の測定は、重さ4.91Nの砂袋を高さ25cmから落下させ、自由振動を測定した。

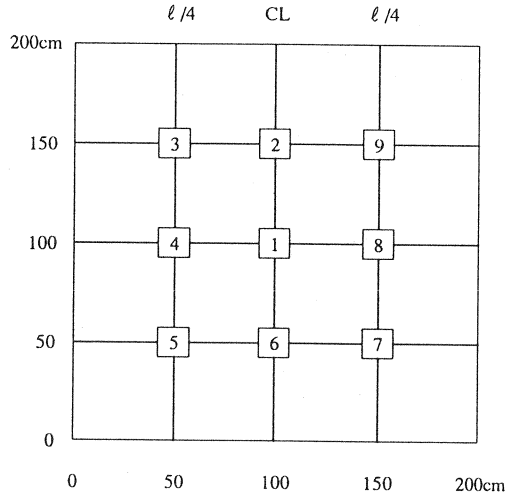


図-4 載荷位置

3. 実験結果

実験時のコンクリートの自由乾燥収縮歪みは、806 μ となり、拘束率を考えるとほぼコンクリートの引張強度程度の面内引張応力が発生していると考えられる。

3.1 たわみおよび剛性

表-7、図-5に実験結果を示す。試験体Cの最大たわみおよび残留たわみは、試験体Bの5割～8割となり、プレストレスの効果が見られた。しかし、乾燥収縮による面内応力のため、試験体BおよびCは、初期載荷時からひび割れが発生し、剛性低下が大きかった。最大たわみから残留たわみを引いた値をスラブたわみとすると、いずれも弾性計算値に対して0.5以下となった。試験体Cは、中央1点での繰返し載荷段階では、試験体Bより剛性が高かったが、全9点載荷終了後では両者はかわらなくなった。最終的には剛性比は、いずれも0.16となった。コンクリートの引張を無視したスラブのひび割れ断面での剛性計算値は、全断面有効の場合の0.20であるが、実験時の剛性はこれより低い値を示した。これは、ひび割れによる応力の変化と、繰返しによる鉄筋の抜けだし等による影響と考えられる。

3.2 固有振動数

表-8および図-6に固有振動数の測定結果を示す。試験体の固有振動数は計算値より全て低い値を示した。固有振動数はスラブの動的な剛性に比例するが、試験体Cは振動数の低下が比較的小さく、プレストレス導入の効果が見られた。

3.3 ひび割れ状況

表-7 実験結果

試験体	B					C				
	たわみ (mm)	残留たわみ (mm)	鉄筋歪 (μ)	剛性比 実験値比	剛性比 計算値比	たわみ (mm)	残留たわみ (mm)	鉄筋歪 (μ)	剛性比 実験値比	剛性比 計算値比
1	2.28	0.930	999	1.00	0.40	1.60	0.45	541	1.00	0.46
100	2.76	1.11	1118	0.82	0.32	2.34	0.68	816	0.69	0.32
10000	3.73	1.42	1331	0.58	0.23	2.44	0.78	834	0.69	0.32
50000	4.25	1.71	1397	0.53	0.21	2.73	0.85	921	0.61	0.28
250001	5.71	2.67	1512	0.44	0.18	4.53	1.41	1164	0.37	0.17
300000	6.28	3.01	1483	0.41	0.16	4.83	1.65	1102	0.36	0.17
500001	6.54	3.09	1452	0.39	0.15	5.06	1.70	1092	0.34	0.16
550000	6.71	3.29	1305	0.39	0.16	5.26	1.94	1063	0.35	0.16

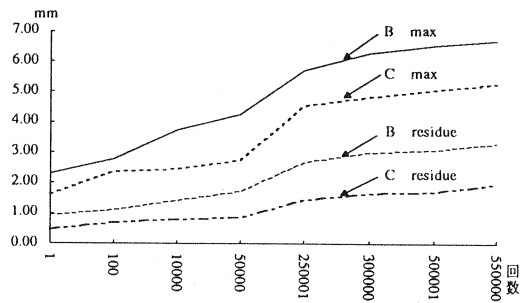


図-5 スラブ中央たわみの変化

表-8 スラブ固有振動数測定結果

試験体	B			C		
	振動数 (Hz)	実験値比	計算値比	振動数 (Hz)	実験値比	計算値比
1	62.3	1.00	0.64	74.8	1.00	0.77
50000	60.8	0.98	0.63	76.5	1.02	0.79
250001	44.8	0.72	0.46	60.7	0.81	0.63
300000	45.3	0.73	0.47	59.3	0.79	0.61
500001	41.5	0.67	0.43	57.8	0.77	0.60
550000	41.2	0.66	0.42	57.3	0.77	0.59

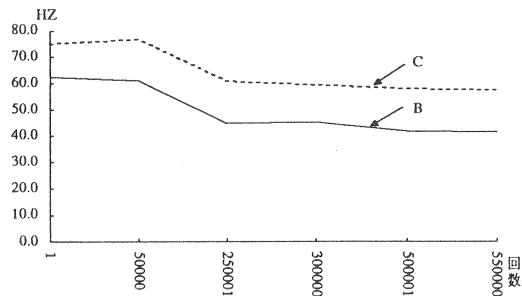
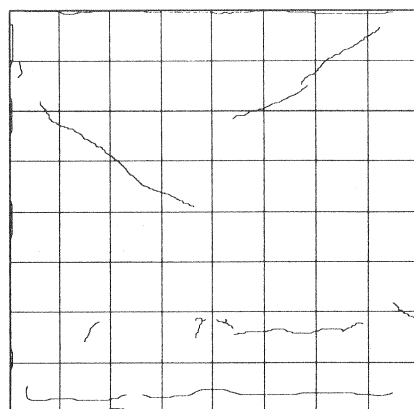


図-6 スラブ固有振動数の変化

図-7に試験体Cの最終ひび割れ状態を示す。ひび割れは、繰返し回数25万回以降急増し、スラブ上面では梁に沿って内接円状に、スラブ下面では、スラブ中央から放射状にひび割れが発生した。これはスラブに生じる曲げ応力に対応しているが、通常の静的載荷試験に比して、低い荷重でかなり多数のひび割れが生じ、繰返し荷重の影響が顕著に現れた。

試験体C上面



試験体C下面

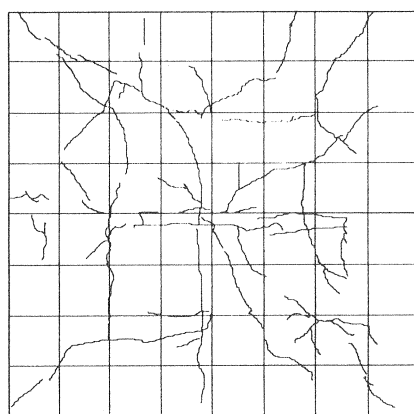


図-7 試験体C最終ひび割れ図

4 まとめ

鉄筋コンクリート造およびプレストレス鉄筋コンクリート造スラブの多数回繰返し載荷実験の結果、以下のことが明らかになった。

1) PRC造スラブのたわみおよび残留たわみは、RC造スラブに比べ小さいが、繰返し荷重の影響により、スラブの剛性は著しく低下した。繰返し荷重を受けるスラブに対しては、使用条件に合わせた適切な剛性評価が必要と考えられる。また、乾燥収縮による面内応力の影響が大きく、スラブ剛性は全断面ひび割れ剛性と仮定した場合よりも低下した。

2) スラブ鉄筋応力は、繰返し荷重により増大した。コンクリートのひび割れの進展により、繰返し荷重が局部に集中する傾向が見られた。荷重のかかる載荷面の大きさの評価が必要と考えられる。

3) 固有振動数は、スラブの動的な剛性と相関があり、プレストレスを導入したスラブの振動数の低下は小さく、その効果が見られた。

参考文献

1) Shi, X. P., Fwa, T.F., Tan, S.A., : Flexural Fatigue Strength of Plain Concrete , ACI Materials Journal , pp.435-440 , Sept.-Oct. , 1993.