

正会員 東 洋一 (東京都立大学教授) 同 〇小森 清司 (同助手)
酒井 純 (同大学院生)

§1 序

本研究は既にきれつが発生して過大なたわみをおしている床スラブに対する最適な補修方法を実験的に究明することが目的である。そのため試験体には実大建物の短辺方向床を対象に一定の幅だけ取出した実大の鉄筋コンクリート一方向帯スラブ8体を用い、健全スラブに対する載荷実験とそれを各種の補修法によって補修した補修スラブに対する再載荷実験とを行ない、補修と補強手法の相違による効果について検討した。

§2 試験体

健全スラブは図1に示すような両端に大きなスラブをつけて固定度を高め両端固定を想定した実大のRC一方向帯スラブ8体で、スパン3.5m、スラブ幅53cm、スラブ厚11cm、引張鉄筋が端部で1-13φ、2-9φ、中央で3-9φとなっている。コンクリートは早強セメント使用による普通コンクリートでポンプ打によって $F_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ を得た。

補修スラブは健全スラブを短期載荷実験によってあらかじめ所定の過大なたわみときれつを発生させたものを用いるが、元たわみの大きさ、エポキシ樹脂の注入の有無、補強鉄筋の相違、増打コンクリート厚さと材料の相違、加力方式の相違によって表2の如く分類される8体である。その詳細は図2に示す。補強鉄筋のうちD13は9cmの定着部を設け、かばりを2cmとるがメッシュ筋は損傷スラブ上に直接置き、定着部分を持たない。なお、増打コンクリートは各試験体毎に調合したため、強度がそろわず表2に示す如くばらついた。

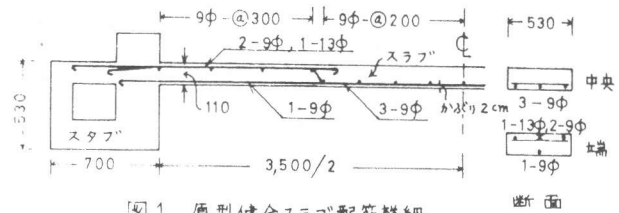


図1 原型健全スラブ配筋詳細

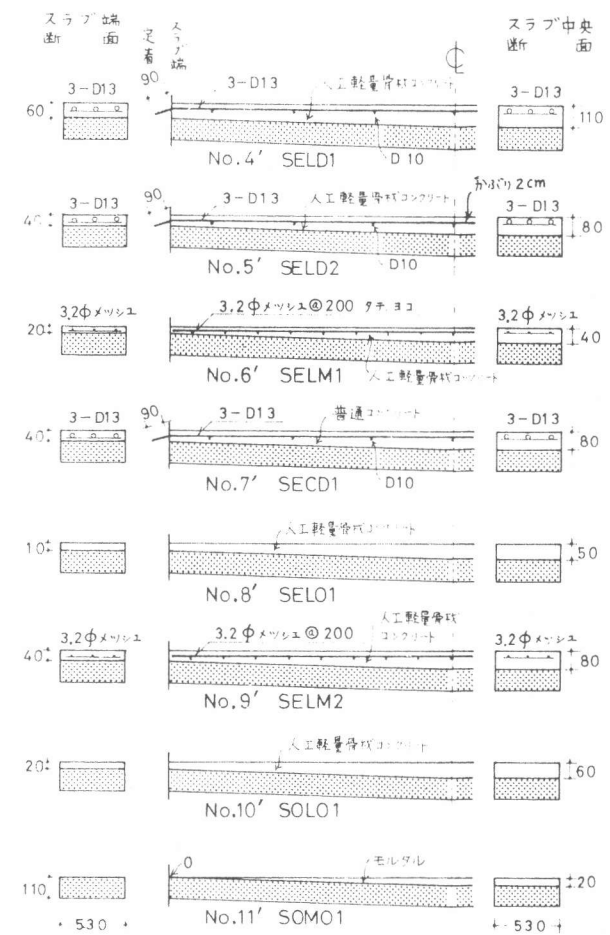


図2 補修スラブ配筋詳細

表1 使用材料の力学的性質

原コンクリート用	Fc (kg/cm ²)	3週	5週	16週
		cEB (%)	0.26	0.25
鉄筋	E _s (kg/cm ²)	1.8 × 10 ⁵	1.8 × 10 ⁵	1.6 × 10 ⁵
	F _{sp} (kg/cm ²)	13	13	12
筋	α (cm ²)	9φ	13φ	D13
	σ _{0y} (kg/cm ²)	0.62	1.31	1.27
	σ _{0B} (kg/cm ²)	2,350	3,000	3,960
	σ _{Ey} (%)	3,800	4,400	5,830
		0.112	0.143	0.189

表2 実験目的による試験体の分類 (補修スラブ)

試験体 No.	記号	加力方式	元たわみの有無	エポキシ注入	補強用鉄筋の種類と配筋	補修用増打コンクリートの種類	増打コンクリート						
							増打厚さ (cm)	中央	端	圧縮強度 (kg/cm ²) × 10 ³	E _c (kg/cm ²) × 10 ³	最大歪 (%)	比重
4'	SELD1	7	5	有	D13-@200	人工軽量骨材コンクリート	6	11	3	354	1.4	0.32	1.65
5'	SELD2	7	4	有	D13-@200	人工軽量骨材コンクリート	4	8	3	358	1.4	0.25	1.65
6'	SELM1	2	2	有	メッシュ@200	人工軽量骨材コンクリート	2	4	3	286	1.4	0.21	1.60
7'	SECD1	4	4	有	D13-@200	普通コンクリート	4	8	3	215	1.7	0.28	2.23
8'	SELO1	5	4	有	無	人工軽量骨材コンクリート	1	5	6	415	1.39	0.39	1.65
9'	SELM2	4	4	有	メッシュ@200	人工軽量骨材コンクリート	4	8	6	388	1.34	0.36	1.65
10'	SOLO1	4	4	無	無	人工軽量骨材コンクリート	2	6	6	282	1.20	0.35	1.65
11'	SOMO1	2	2	無	無	モルタル	0	2	6	425	2.09	0.32	—

注1) 記号の1字目: 載荷 (S: 短期), 2字目: エポキシ注入 (E: 有, O: 無), 3字目: コンクリート種別 (L: 人工軽量骨材, C: 普通, M: モルタル), 4字目: 補強筋 (D: D13, M: メッシュ, O: 無)

§ 3 実験方法

1) 載荷実験 試験体を両支桌が自由に水平移動できる様にテフロン支桌上にセットし、多桌式オイルジャッキを用いて図3の如く上面から鉛直載荷した。加力中スラブ端のスタブ部分が回転しない様、支桌上でモーメントが釣合う様に支桌外側のはねだし部分にも加力した。載荷方法は除荷時の残留たわみが1, 2, 3, 4, 5 cm になる様に見計らった変形制御による履歴載荷と、一方向単純載荷の2種類とし、荷重の大きさはロードセルで計測換算した。

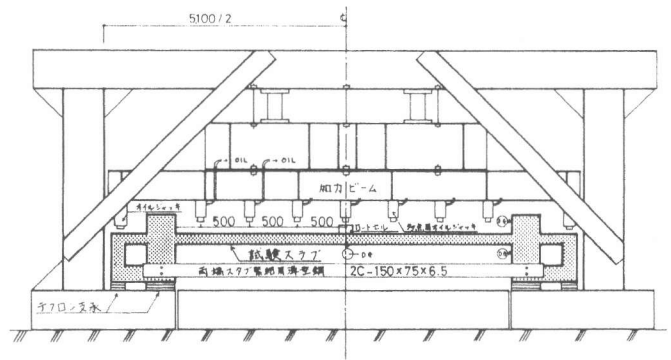


図3 実験装置

2) 再載荷実験 先の載荷実験によって、表2に示す所定の元たわみを生じた各試験体を所定の補修方法によって補修し、2週間の養生期間を経たものを再試験用の試験体とし、再び一方向単純載荷方式によってたわみが3 cm 以上に達するまで加力した。

3) 変形と歪の測定 スラブ中央桌のたわみ及び両端の水平変位は精度 $1/100$ mm のダイヤルゲージと変位計とを用いて計測した。鉄筋歪はスラブ中央桌、スラブ端及び端から30 cm スタブ内に入った桌に W.S.G. を貼布して計測した。コンクリート歪はスラブ中央桌及びスラブ端(スタブとの接合桌からスラブ内に6 cm 入った位置)の上、下面に W.S.G. を貼布して計測した。また、きれつ幅はノギスで計測した。

4) スラブの固有振動数の測定 帯スラブの固有振動数の測定は帯スラブの中央桌に感振器を置いて重さ8 kg の鉄球をスラブ上に落下させてその振動波を記録させ、振動数を読取った。測定の時期は次の通り。

- i) 原型の健全スラブでは、無載荷時、履歴載荷中の各除荷時(残留たわみが1, 2, 3, 4, 5 cm の時)、載荷終了時、
- ii) 損傷スラブのきれつにエポキシ樹脂を注入し、2日後、及び増打コンクリート打設後2週間後、
- iii) 補修スラブでは再試験の載荷前と試験終了時とした。

§ 4 補修方法

1) エポキシ樹脂の注入 きれつ幅が0.3 mm 以上のものをエポキシ樹脂でもって、表面をあらかじめシーラレ、1日後きれつ面に沿って5 cm 間隔にドリルで穴をあけ、エポキシ樹脂を圧入した。但し、きれつ幅が0.3 mm 未満のものに対しては補修を施していない。

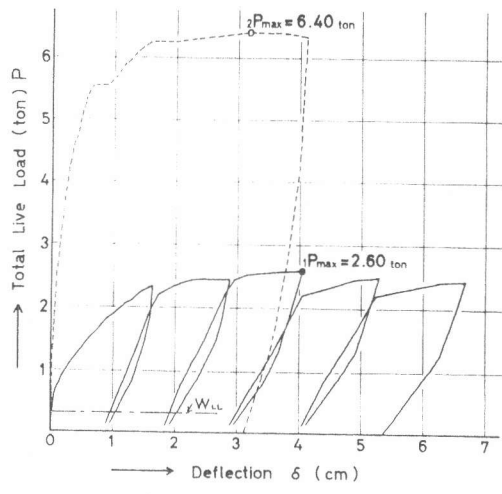
2) コンクリートの増打 たわみをおこして傾斜したスラブ上面に早強セメントを使用した人工軽量骨材コンクリート、普通コンクリート或いはモルタルを表2の分類に従って増打し表面を平滑に仕上げた。また、コンクリート打設の直前に損傷スラブ上面にエポキシ樹脂を塗布して、新旧コンクリートの接着を補助した。

3) 配筋補強 補強用鉄筋にはD13 或いはワイヤメッシュ(3.2φ @ 200 タテ, ヨコ)を用い、図2の如く配筋した。但し、D13 を用いる場合は鉄筋の根本を30° 曲げ9 cm の定着部分を作り、スラブ端のスタブに穴をあけて挿入しエポキシ樹脂を注入して固めた。

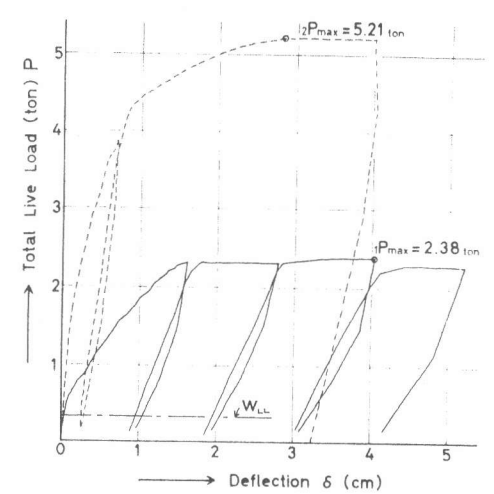
表3 実験値・設計横載荷重・実験値の比較一覧表

試験体 No. 記号	加力 方式	設計横載 荷重 W _{LL} (ton)	原型スラブ				補修スラブ			原型スラブと補修スラブの比較				
			剛性 W/δ (t/cm)	初きれつ Wc (ton)	最大荷重 W _M ³⁾ (ton)	固有振動数 f (Hz)	剛性 W _R /δ (t/cm)	最大荷重 W _R ³⁾ (ton)	固有振動数 f _R (Hz)	W _R /δ W/δ	W _M W _M	f _R f	W _M W _{LL}	W _R W _{LL}
4'	SELD1	0.34	11.60	1.05	3.09	26.4	35.8	7.17	44.0	3.09	2.32	1.67	9.09	21.1
5'	SELD2	0.34	6.73	0.98	2.87	27.4	16.5	5.90	29.1	2.45	2.06	1.06	8.44	17.4
6'	SELM1	0.34	11.60	0.84	2.62	25.9	13.4	3.64	28.2	1.16	1.39	1.09	7.71	10.7
7'	SECD1	0.34	8.53	1.01	2.36	24.6	12.5	4.63	28.6	1.47	1.96	1.16	6.94	13.6
8'	SELO1	0.34	7.58	0.96	2.66	21.2	23.1	3.51	23.8	3.05	1.32	1.12	7.82	10.3
9'	SELM2	0.34	3.33	1.16	2.46	20.4	16.5	4.45	26.3	4.95	1.81	1.29	7.24	13.1
10'	SOLO1	0.34	6.52	1.01	2.56	25.0	7.9	3.89	24.8	1.21	1.52	0.99	7.53	11.4
11'	SOMO1	0.34	6.52	1.16	2.51	23.8	3.8	3.03	21.4	0.58	1.21	0.90	7.38	8.9

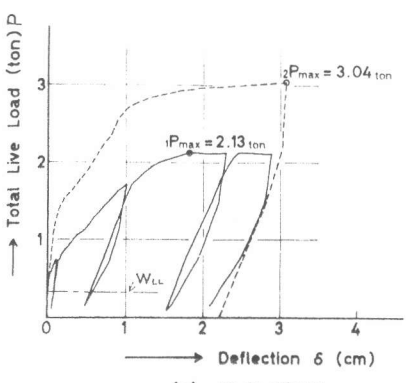
(注) 1) W_{LL} = αW - W_{DL}, 2) W_M = 1P + W_{DL}, 3) W_R = 2P + W_{DL}, 4) W_R = 2P + W_{DL}, 5) W_R = 2P + W_{DL}



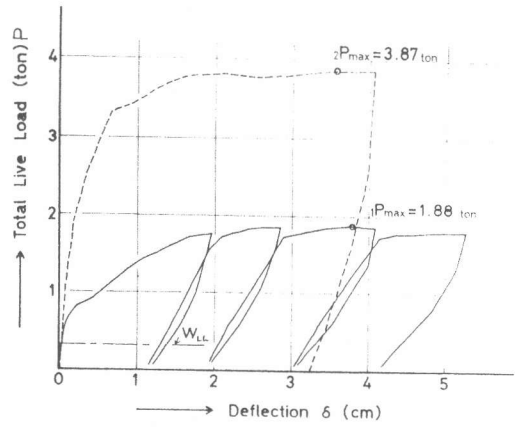
(a) No.4' SELD1



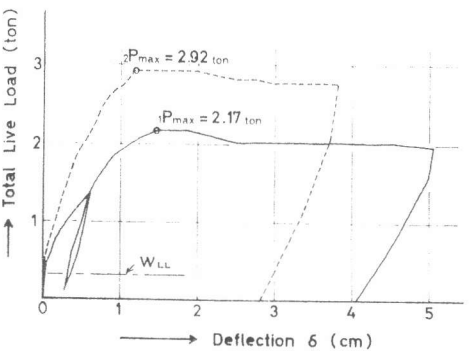
(b) No.5' SELD2



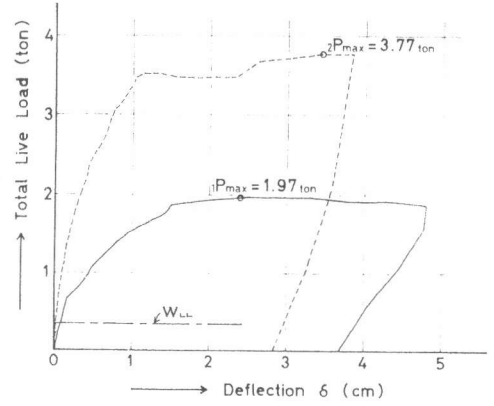
(c) No.6' SELM1



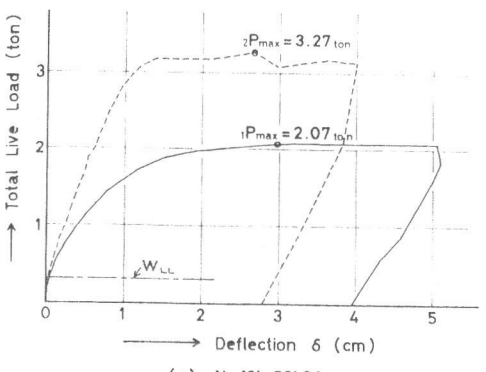
(d) No.7' SELD1



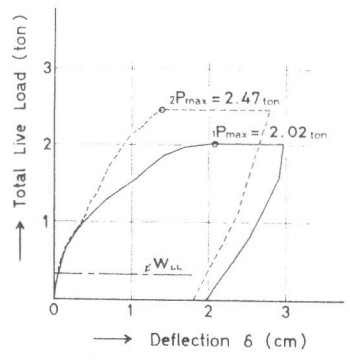
(e) No.8' SEL01



(f) No.9' SELM2



(g) No.10' SOLO1



(h) No.11' SOM01

(注)
 — : 原型スラブ
 - - - : 補修スラブ
 $1P_{max}$: 原型スラブの最大値
 $2P_{max}$: 補修スラブの最大値
 W_{LL} : 設計積載荷重 = 0.34 ton

図4 荷重へたわみ曲線

§5 実験結果

実験の主要値及び原型スラブと補修スラブとの比較、設計積載荷重と実験値との比較等を表3に一覧し、荷重～たわみ曲線を各試験体毎図4に示す。図中、実線は原型の健全スラブの復元力特性を、破線は補修スラブの再載荷時の復元力特性を示す。

§6 荷重～たわみ性状

原型スラブの復元力特性は図4によれば、試験体によって若干異なるが、たわみが0.2cm近傍に達した時、桟端と桟中央にきれつが発生し、剛性が極度に低下し、 $\delta = 1.6 \sim 1.8$ cm 近傍の時、端及び中央の引張鉄筋が降伏し、*tri-linear* 型の曲線を示す。補修スラブのP- δ 曲線はエポキシ樹脂を注入したNo.4', ~No.9' では新しいきれつの発生がみられ、*tri-linear* 型を示すが、エポキシ樹脂の注入がないNo.10', No.11' では既往のきれつがそのまま残っており、それが荷重の増加に伴って崩れていくため、明確なきれつ荷重点が見出せず、緩慢な曲線による*bi-linear* 型となっている。増打コンクリートの厚いNo.4', No.5', No.7', No.9' ではきれつが発生しても剛性の低下は顕著ではない。また、No.10', No.11' はエポキシ樹脂の注入がなくコンクリートの増打だけであるが、原型スラブに対して1.5倍と1.2倍の耐力増を示している。

§7 補修効果

1) 補修スラブの剛性、耐力、固有振動数の増大状況は表3によればエポキシ樹脂の注入及びコンクリートの増打厚さの違いによって異なるが、剛性面では1.2~3.1倍、耐力面では1.2~2.8倍、振動数の面では0.9~1.7倍の範囲にあり、耐力の設計積載荷重に対する倍率も、原型スラブで6.9~9.1倍だったものが補強によって8.9~21.1倍と大幅に増大している。とりわけ、コンクリートの増打が厚いものが大きな倍率を示している。また、本シリーズで最も損傷の著しかったNo.4'の増大率が一番大きかったのは興味深い。これはNo.4'の損傷度を意識して若干過度の補強を施したためと思われるが、補修法の選が次第で、損傷スラブを原型スラブ以上の剛性と耐力を保有するものに補強することが可能なことを示している。

2) 図4は補修方法の相違による補修効果を調べるため、元たわみが4cmと等しい4体に対して異なる補修を施し比較したもので、図から次のことがいえる。i) きれつにエポキシ樹脂を注入したNo.7', No.8', No.9' は注入しないNo.10'より初期剛性が高く、特に $\delta = 1$ cmの範囲に限ればNo.8'の剛性がNo.10'より高くなり、エポキシ樹脂のきれつ注入による補修が有効なことを示している。但し、 $\delta = 1$ cmを越え、きれつが再発生するとその効果は激減する。ii) コンクリートの増打厚さはNo.7', No.9', No.10', No.8'の順に大きい。したがって耐力もその順に大きくその比は1:0.96:0.84:0.76となり増打厚さが耐力の増大に及ぼす効果の大きいことを示している。iii) D13を配し普通コンクリートを打設したNo.7'はメッシュ配筋で人工軽量骨材コンクリートを打設したNo.9'と比較すると、たわみが0.6cm近傍までは補強筋と増打材料の効果は認められるが、補強筋の定着が9cmと小さいため抜出しが始まり、それ以降の耐力増を期待できない。したがって大変形時においても耐力増を望むならば、それに見合う十分な定着が必要となる。コンクリート材料の相違はそのヤング係数の差が剛性に影響を与えるが、大変形時にはその影響がほとんど認められない。

§8 結び

過大なたわみときれつを生じた損傷スラブを補修する場合、エポキシ樹脂をきれつに注入し、損傷スラブの上面に、端部の厚さが2cm以上になるようコンクリートを増打し、且つ新旧のコンクリート接合面にもエポキシ樹脂を塗布して接着する方法は、初期剛性、耐力、固有振動数の回復と増強を計るのに有効である。

[謝辞] 実験に協力いただいた東京都立大学学生松本泰樹君に感謝致します。

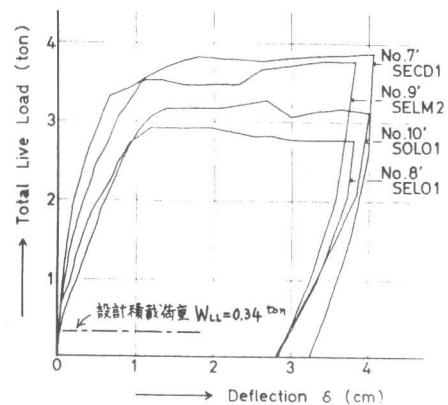


図5 補修方法の違いによる比較