

I - A176

下面増厚補強した RC 床版の多点繰返し载荷試験に関する基礎的研究

武蔵工業大学 学生会員 金田 尚志

同上 正会員 吉川 弘道

同上 フェロー会員 小玉 克巳

奈良建設 技術研究所 正会員 佐藤 貢一

1. はじめに

著者らは平成4年より下面増厚補強した RC 床版の静的および疲労試験を行い、補強することにより最大耐力力の向上、疲労寿命の延長を確認することができた。多点繰返し载荷における疲労寿命について、せん断力度影響線とマイナー則を用いて理論的に把握することを目的とする。

2. 供試体と実験概要

実験に用いた供試体と载荷条件は図1、図2に示したとおりで、鉄筋にSD295を使用し主筋D16@110mm、配力筋D13@250mmと上側にその半量を配筋した。コンクリートの材令28日の圧縮強度はどの供試体においても $22.6 \pm 1 \text{MPa}$ であった。補強方法は表1に示すとおりで、次のような特徴をもつ。①CFRP補強：補強部の剛性が高く、たわみ量や母床版の鉄筋応力の低減効果が大きい。②PC鋼線補強：PC鋼線と補強モルタルの付着が低いために、そこにずれが生じて母床版の変形に追従し、疲労試験においてかえって良い結果が得られた。③PAE系補強：弾性係数が低く、付着強度が低いモルタルで補強。④SBR系補強：弾性係数が高く、付着強度が高いモルタルで補強。⑤⑥アクリル系補強：弾性係数が低く、付着強度が高いモルタルで補強。

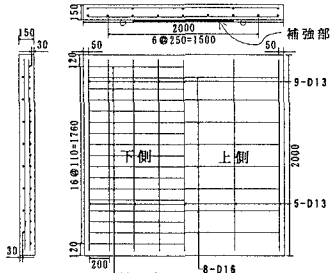


図1 供試体概略図

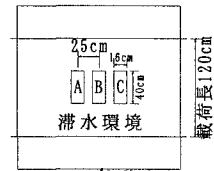


図2 载荷条件

表1 補強概要と静的耐力力 ()は松井式[1]による理論値

供試体No	補強工法	補強材料	補強部幅(mm)	補強厚(mm)	押抜きせん断耐力(kN)
N-1, N-2	無補強	-	-	-	377.3 (419.4)
①	プレキャスト版接着	CFRP	6φ779系鋼線①系	1.3	490.3 (498.8)
②	プレキャスト版接着	PC鋼線	6φ779系鋼線①系	1.5	485.4 (517.4)
③	型枠流し込み	D6鉄筋メッシュ	6φ779系鋼線②系	2.0	445.2 (513.0)
④	型枠流し込み	D6鉄筋メッシュ	6φ779系鋼線②系	2.0	490.3 (513.0)
⑤	コテ塗り	D6鉄筋メッシュ	779系	2.0	470.7 (513.0)
⑥	吹き付け	D6鉄筋メッシュ	779系	2.0	529.6 (513.0)

表2 補強材料

	曲げ強度	圧縮強度	弾性係数	付着強度(建研式)
PAE系①	9.065	21.36	1.17×10^4	2.450
PAE系②	6.203	17.35	0.96×10^4	1.205
SBR系	9.996	28.71	1.84×10^4	2.754
779系コテ塗り	6.420	30.00	1.03×10^4	2.290
779系吹き付け	10.200	38.60	1.14×10^4	3.760

表3 補強ポリマーモルタル性状 (材令28日MPa)

	弾性係数(MPa)	1本あたりの断面積(cm ²)	ピッチ(cm)		降伏点応力(MPa)	破断強度(MPa)	引張断力(kN)
			主筋	配力筋			
鉄筋D6	1.86×10^5	0.3167	7.0	5.0	356.7	519.4	-
CFRP	3.43×10^5	0.1248	10.0	2.5	-	2646.0	1715.0
PC鋼線	1.96×10^5	0.0605	8.0	2.0	-	2107.0	1185.8

3. 実験結果

表4に疲労試験の結果を示す。破壊形態は全て破壊载荷板位置による押抜きせん断破壊である。解析と理論値の算出は、母床版と補強部が一体となっていると仮定して行った。供試体No N-2, ②は3点とも200万回終了後も破壊に至らなかったため上限荷重を上げた。

4. せん断力度影響線とマイナー則を用いた载荷回数の修正

本実験は、多点繰返し载荷で行っているため、破壊载荷板位置以外の载荷点の影響を考慮しなくてはならない。キーワード：下面増厚補強、せん断力度影響線、マイナー則、多点繰返し载荷、疲労寿命

連絡先：〒158 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学工学部土木工学科 03-3703-3111 (内) 3241

：〒222 横浜市港北区新横浜 1-16-2 奈良建設(株) 技術研究所 045-471-3859 (FAX) 045-473-3287

らない。そこでせん断力度影響線とマイナー則を用い、他点にどの程度影響を及ぼしているかを求める。主筋方向と配力筋方向の剛性を考慮し、直交異方性平板理論でせん断力分布から破壊断面の中央線上における載荷板位置のせん断力を1とした影響線を求めた。ある載荷点におけるその点のせん断力度を P_k とし、せん断力度影響係数 ζ_{kj} との積でせん断力度を S_j を求める。例えば、A 点に載荷したときの B 点のせん断力度は $P_A \cdot \zeta_{AB} = S_B$ のように表示する。 S_j は次のように表される。

$$\begin{bmatrix} S_A \\ S_B \\ S_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \zeta_{AA} & \zeta_{AB} & \zeta_{AC} \\ \zeta_{BA} & \zeta_{BB} & \zeta_{BC} \\ \zeta_{CA} & \zeta_{CB} & \zeta_{CC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_A \\ P_B \\ P_C \end{bmatrix}$$

マイナー数が $M=1$ になり押抜きせん断破壊すると仮定し、各荷重段階においての損傷度を求める。 k 点に載荷したときの j 点のせん断力度を S_{kj} としそれが単独で作用したときの疲労寿命を $N(S_{kj})$ とする。マイナー則適用にあたり基本となる $S-N$ 曲線は、他の文献^[2]と我々の実験結果をもとに定めた ($\log N = -21.05S + 13.42$)。ある載荷板における載荷回数を n_k とすると、マイナー増分 $\Delta M_{kj} = n_k / N(S_{kj})$ で表され、3 段階で載荷したときの例を表 5 に示す。実験終了時に M_j が最も高い載荷点に着目し、それ以外の載荷点の影響を差引きその載荷点に単独で載荷があった場合の予想疲労寿命を換算回数とし、次の式で求めた。

$$N_j = n_j \times \sum_{k=A,B,C} \frac{\Delta M_{kj}}{\Delta M_j} \quad (k=A,B,C)$$

各モデルについて換算回数を疲労寿命として採用した。途中で上限荷重を上げたものに関しても、同様にして載荷回数の修正を行う。上限荷重比: P/P_0 (上限

荷重/松井式による理論値)と換算回数を用いた $S-N$ 曲線を図 4 に示す。供試体 No ③④は試験開始直後に、補強部のはく離が発生し、補強効果がなくなったので近似式からは除いた。付着強度が高く、弾性係数の低いポリマーモルタルで補強する。また補強部の剛性を低くし、母床版の変形に追従させ、母床版と補強部の界面に働くせん断付着応力を小さくすることにより、疲労寿命を延長できることが実験結果から確認できる。

6. まとめ

累積損傷度から換算回数を求め、多点移動載荷における疲労寿命の推定を行った。しかし載荷を繰り返していくと、ひびわれの発生や補強部のはく離等が発生し断面が減少していき、床版のせん断力度分布状態が変化していく。また、今回は線形被害則を用いたが、疲労損傷の進行により、劣化の進行が早くなるので実際は非線形的に損傷度が増加している。これらの劣化過程を考慮した解析が今後必要であると考えられ、今後は輪荷重走行試験や実橋への応用について、検討を進めていく。

[参考文献][1] 前田、松井：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式、土木学会論文集、第 348 号、pp133-141、1984

[2]例えば 木曾、神谷、飯東、橋梁床版の補強に関する実験的研究、土木学会第 48 回年次学術講演会講演概要集第 1 部、pp278-279、1993

表 4 疲労試験結果

供試体 No	上限荷重 (kN)	下限荷重 (kN)	荷重比 P/P_0	載荷回数(回)		
				A 点	B 点	C 点
N-1	145.0	19.6	0.346	3.0×10^5	5.0×10^5	-
N-2	98.0	14.7	0.234	2.0×10^6	2.0×10^6	2.0×10^6
	137.2	14.7	0.327	8.2×10^5	5.0×10^5	5.0×10^5
①	166.6	29.4	0.334	4.3×10^4	-	1.6×10^6
②	166.6	29.4	0.322	2.0×10^6	2.0×10^6	2.0×10^6
	215.6	29.4	0.417	3.6×10^4	-	3.8×10^5
③	166.6	29.4	0.325	9.8×10^4	3.0×10^5	-
④	166.6	29.4	0.325	-	3.9×10^5	-
⑤	166.6	29.4	0.325	1.6×10^6	2.0×10^6	-
⑥	166.6	29.4	0.325	2.0×10^6	2.0×10^6	1.7×10^6

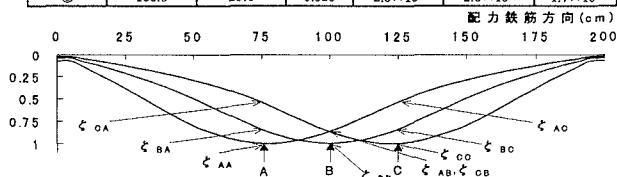


図 3 せん断力度影響線 (例:供試体 No ⑥)

表 5 マイナー数増分表

	A 点の損傷度	B 点の損傷度	C 点の損傷度
A 点に n_A 回載荷	$\Delta M_{AA} = \frac{n_A}{N(S_A^A)}$	$\Delta M_{AB} = \frac{n_A}{N(S_B^A)}$	$\Delta M_{AC} = \frac{n_A}{N(S_C^A)}$
B 点に n_B 回載荷	$\Delta M_{BA} = \frac{n_B}{N(S_A^B)}$	$\Delta M_{BB} = \frac{n_B}{N(S_B^B)}$	$\Delta M_{BC} = \frac{n_B}{N(S_C^B)}$
C 点に n_C 回載荷	$\Delta M_{CA} = \frac{n_C}{N(S_A^C)}$	$\Delta M_{CB} = \frac{n_C}{N(S_B^C)}$	$\Delta M_{CC} = \frac{n_C}{N(S_C^C)}$
累積損傷度: M_j	M_A	M_B	M_C

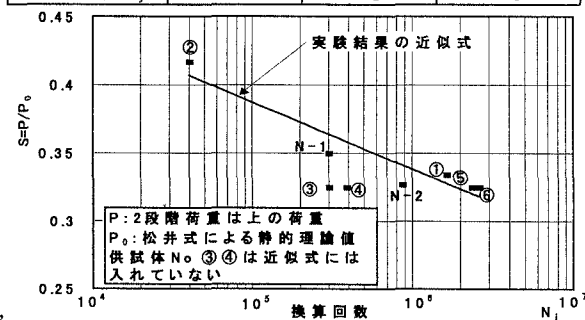


図 4 $S-N$ 曲線