

曲率を用いた床版の健全性評価に関する基礎的検討

Fundamental study on soundness evaluation of RC slabs using longitudinal curvature

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 ○正会員 角間 恒 (Ko Kakuma)
(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)

1. はじめに

劣化が顕在化した膨大な量の道路橋床版を効率的に維持管理するためには、耐荷性能を簡易に把握し、対策の優先順位付けを行う必要がある。その一つの手法として、衝撃荷重載荷試験の実用化が進められている¹⁾が、現状では耐荷性能の定量的評価には結びついていない。

本研究では、衝撃荷重載荷試験から取得できるデータのうち、たわみから算出する曲率に着目した床版の健全性評価手法の構築を目指す。本論文では、その基礎的検討として試験体諸元等が異なる床版の輪荷重走行試験を実施し、曲率に基づく試験結果の整理を行った。

2. 試験方法

検討対象は、表-1に示す実物大試験体14体および小型試験体13体とする。全ての試験において、鉄輪と載荷ブロックを使用した載荷方式、ならびに、2辺単純支持および2辺弾性支持による支持方式を採用している。

No.1~20(以下、シリーズB)は、昭和31年の鋼道路橋設計示方書に準じて設計した実物大試験体No.1~4、および、それらを2/5スケールに縮小した試験体No.8~11(以下、基準試験体)を基準に、床版厚や鉄筋量、支持間隔等を様々に変化させたシリーズである。これらの試験には一定荷重走行プログラムを採用した。

No.21~27はシリーズBから得られる結果の汎用性を検証するシリーズであり、シリーズV_sは新規製作した床版、V_cは実橋から切出した床版、V_Rは新規製作後に下面補強を行った床版に対し、荷重漸増載荷プログラムの下で試験が行われている^{2), 3)}。

3. 試験結果

3.1 既往の疲労耐久性評価式による整理

図-1に、シリーズBに関する荷重比と破壊時走行回数(以下、S-N関係)を示す。ここで、荷重比とは走行荷重を梁状化後の押抜きせん断耐力⁴⁾で除した値である。図のとおり、基準試験体に対してS-N関係式を定式化できるが、既往の式⁴⁾とは差異があり、試験体諸元等が変化すると走行回数の算定精度が低下する。

3.2 曲率による破壊時走行回数の評価

(1) シリーズB

試験体諸元等により破壊時走行回数を算定できない問題に対しては、押抜きせん断耐力を求めるときの梁幅を修正することで算定方法の統一を図ろうとする試みが多い。一方、本研究では破壊までの走行回数だけでなく、現地試験に基づく床版の健全性評価手法の構築を最終的な目的としており、輪荷重走行に伴う構造性能の変化を捉えられる形で試験結果を整理できると都合が良い。以

表-1 試験体一覧

No.	シリーズ	スケール	t	a×b	L _m ×L _d	p _m	p _d	f' _c	P _{ss}	P	N _f	
1	B	実物大	160	300×120	2,350×3,125	1.29	0.55	43.0	268.3	110	216.0	
2								41.7	264.2	150	2.9	
3								36.6	242.4	190	0.3	
4			180	500×200		1.27	0.52	38.6	254.7	150	4.8	
5						0.83	0.67	30.3	291.9	189	9.4	
6						1.29	1.11	39.6	247.4	160	13.0	
7					200	2,500×2,800	1.43	0.93	41.7	379.5	200	80.0
8		縮小	64	200×80	960×1,320	1.47	0.63	35.4	49.5	23	60.5	
9								40.8	51.3	30	4.8	
10								52.3	58.3	30	10.0	
11								37.9	50.6	20	140.0	
12							0.75	41.8	53.0	32	1.9	
13							0.94	43.8	54.9	33	2.5	
14						1.83	1.26	1.26	34.2	48.3	29	17.4
15								1.89	34.0	48.3	29	20.0
16								0.63	43.0	57.7	33	0.3
17						2.20	0.63	42.2	57.4	34	1.0	
18								29.9	46.1	25	8.0	
19								0.63	41.2	58.3	20	100.0
20								760×1,320		1.68	54.1	51.9
21～23	V _S	実物大	文献 2 および 3 参照（文献 2 中の試験体 A-S、A-SD および文献 3 中の試験体 No.1）									
24～26	V _C		文献 2 参照（文献中の試験体 A-1、A-2、A-3）									
27	V _R		文献 3 参照（文献中の試験体 No.2）									

記号の説明 t:床版厚(mm)、p_m:主鉄筋比(%), a:走行直角方向の載荷ブロック寸法(mm)、b:走行方向の載荷ブロック寸法(mm)、L_m:走行直角方向の支持間隔(mm)、L_d:走行方向の支持間隔(mm)、p_d:配力鉄筋比(%), f'_c:コンクリート圧縮強度(N/mm²)、P_{ss}:梁状化後の押抜きせん断耐力⁴⁾(kN)、P:走行荷重(kN)、N_f:破壊までの走行回数(万回)

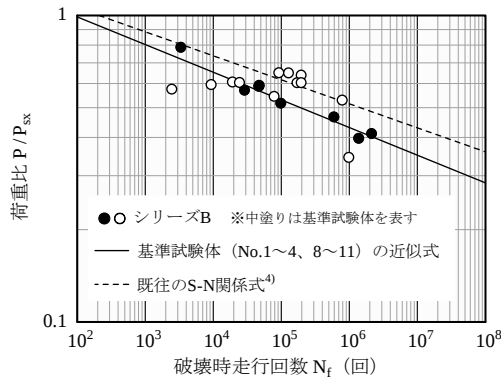


図-1 S-N 関係 (シリーズ B)

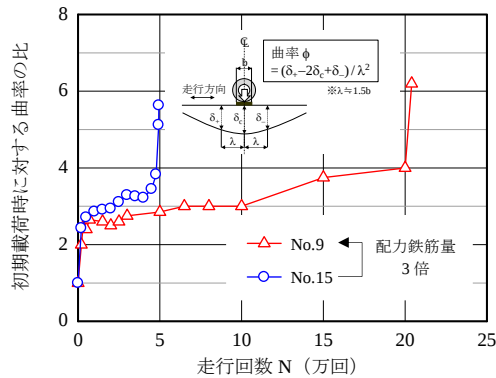


図-2 曲率変化の例 (No.9 および 15)

下では、床版が梁状化する過程で配力鉄筋方向への荷重分配機能が徐々に低下していくことを表す指標として、配力鉄筋断面の曲率に着目する。

図-2 には、一例として、試験体 No.9 および 15 における曲率変化を、初期載荷時の曲率に対する比により表した結果を示す。曲率は、走行開始直後の曲びひび割れ発生により大きく増加した後は概ね一定勾配で漸増し、破壊とともに再び急増する。図より、配力鉄筋量が少ないほど曲率が早期に増加していることが明らかである。

図-3 に、曲率変化勾配と破壊時走行回数との関係を示す。ここで、曲率変化勾配は、曲率が概ね一定の勾配で漸増する区間での平均的な勾配として定義した。図より、曲率変化勾配が大きい、すなわち、配力鉄筋方向への荷重分配機能の低下が速いほど床版は早期に破壊に至っている。また、曲率変化勾配と破壊時走行回数の間には強い相関関係があり、本研究の範囲において式(1)の相関式 (決定係数 0.95) を定義できる。

$$\Delta\phi/\Delta N = 0.0277 N_f^{-1.039} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta\phi/\Delta N$: 曲率変化勾配 (1/m/回) である。

(2) シリーズ V_S、V_C、V_R

図-3 中には、No.21~27 の結果も示している。これらの試験体では荷重漸増載荷プログラムを採用していることから、次式を用いて一定荷重に換算した。

$$N_{eq} = \sum \{ (\Delta\phi/\Delta N)_i / (\Delta\phi/\Delta N)_m \}^{1.095} N_i \quad (2)$$

ここで、 N_{eq} : 換算走行回数 (回)、 $(\Delta\phi/\Delta N)_i$ および $(\Delta\phi/\Delta N)_m$: 荷重 P_i および P_m の区間における曲率変化勾配 (1/m/回)、 N_i : 荷重 P_i での走行回数 (回)、 P_m : 基本荷重 (kN) であり、 P_m には各試験における最大荷重を使用した。図より、式(1)の関係は載荷プログラム

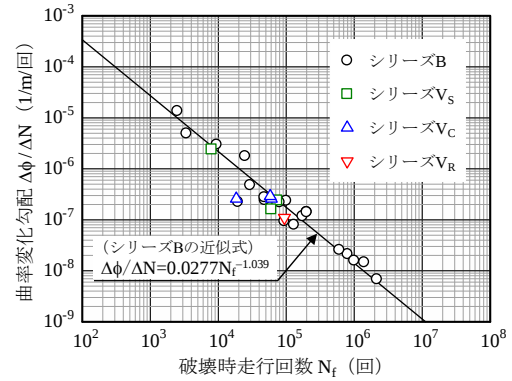


図-3 破壊時走行回数と曲率変化勾配の関係

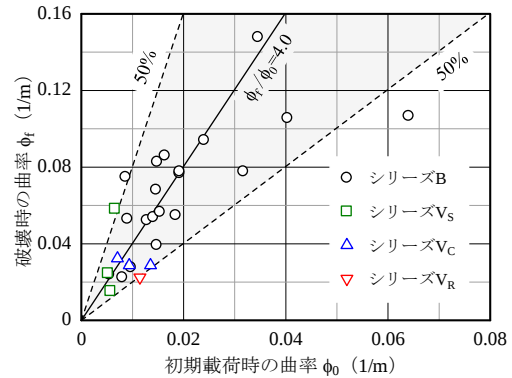


図-4 初期載荷時曲率と破壊時曲率の比較

ならびに試験体の劣化および補強の有無を問わず、輪荷重走行試験結果の評価に適用できると考えられる。

3.3 曲率による健全性評価

図-4 に、破壊時曲率と初期載荷時曲率との関係を示す。初期載荷時に対する破壊時の曲率比は、試験体諸元 (ここには劣化や補強の有無も含む) や支持間隔によらず 4.0 ± 2.0 の範囲に大半が含まれる。この結果は、現地試験や数値計算等から健全部の曲率を把握することで破壊時の曲率を推定でき、さらに劣化部の曲率を測定することで破壊まで余裕度を評価できることを示唆する。

4. おわりに

本論文では、配力鉄筋断面の曲率に着目することで、床版が疲労破壊に至る挙動を評価できることを示した。今後は、室内あるいは現地試験を通し、衝撃荷重載荷試験により床版の曲率を評価する方法について検討する。

参考文献

- 1) 横山広ほか：衝撃荷重による RC 床版の劣化度判定に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol.62A、pp.1194-1201、2016。
- 2) 三田村浩ほか：道路橋 RC 床版上面の凍害劣化と疲労寿命への影響、構造工学論文集、Vol.55A、pp.1420-1431、2009。
- 3) 三田村浩ほか：積雪寒冷地における RC 床版の下面 FRP シート補強に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.2、pp.1483-1488、2009。
- 4) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理、森北出版、2007。