

報告 コンクリートの圧縮疲労材料損傷に基づく RC 床版の疲労破壊評価に関する一考察

坂口 淳一*1・渡辺 忠朋*2・土屋 智史*3・久部 修弘*4

要旨: 道路橋の RC 床版は、移動荷重の繰返しにより、床版が部分的に抜け落ちることで疲労破壊に至る場合がある。近年の構造物への維持管理に対する関心の高まりを受けて、RC 床版に対する新たな補修・補強工法が施された床版や材料劣化が生じた床版等の種々の条件に対して、疲労破壊に対する安全性を評価できる手法が求められている。そこで本検討では、RC 床版の圧縮域コンクリートの圧縮疲労損傷に基づく RC 床版の構造体としての疲労破壊の評価手法の構築を試みた。併せて、下面補強を行った RC 床版の輪荷重走行試験の結果に対して、提案する疲労破壊の評価手法の妥当性の検証を試みた。

キーワード: RC 床版, 疲労破壊, 圧縮疲労損傷, CFRP 補強

1. はじめに

道路橋の鉄筋コンクリート床版（以後、RC 床版と呼ぶ）は、輪荷重を直接支持する部材であるため、移動荷重の繰返しにより損傷が進展し、破壊に至る場合がある。そのため、輪荷重の載荷に対して、供用期間を通じて疲労破壊に対する安全性を確保することが求められる。

道路橋 RC 床版の疲労破壊に対して、既往の研究では、模型供試体の輪荷重走行試験による実験検証が行われ、高精度の回帰式が提案されてきた¹⁾。しかしながら、近年の RC 床版の補修・補強に対する需要の高まりを背景に、断面補修や断面の増し厚、鋼板や FRP による下面補強等の種々の工法が提案され、実用化されている。これに加えて、材料劣化を生じた RC 床版等、今後、構造物の維持管理を進めていく上では、多岐に渡る条件下で RC 床版の疲労寿命算定が要求されている現状がある。

数値解析による検討として、前川・藤山らは、有限要素解析により床版の疲労損傷を解析している²⁾。その結果、鉄筋コンクリートの疲労損傷挙動を考慮した材料構成則を用いることで、床版の疲労損傷過程を良好に再現できることが示されている。このことは、移動荷重による応力履歴を適切に評価できれば、コンクリートの材料レベルの疲労損傷に基づき、種々の条件下の RC 床版の疲労寿命を評価できることを示唆していると考えられる。

本検討では、このような観点により、RC 床版の部材としての疲労破壊が圧縮域コンクリートの圧縮疲労による材料損傷（以後、圧縮疲労損傷と呼ぶ）によりもたらされるものと仮定し、RC 床版の疲労破壊に対する評価手法の検討を試みた。提案する手法は、2 次元的なアプローチのより、RC 床版上面側の圧縮域コンクリートの

圧縮疲労損傷に基づき部材の疲労破壊を評価するものである。本稿では、RC 床版コンクリートに作用する主圧縮応力を算定するための力学モデルを示した後に、CFRP による下面補強を行った実物大 RC 床版の輪荷重走行試験結果により、提案する手法の妥当性の検証を試みる。

2. 疲労破壊評価手法の提案

2.1 圧縮疲労損傷に基づく RC 床版の疲労破壊評価

本稿に示すコンクリートの圧縮疲労損傷に基づく RC 床版の疲労破壊の評価手法は、応答値を圧縮域コンクリートの主圧縮応力 σ'_2 、限界値をコンクリートの圧縮疲労強度 f'_{cr} に基づく手法であり、式(1)で表される。

$$\sigma'_2 / f'_{cr} \leq 1.0 \quad (1)$$

圧縮域の主圧縮応力に基づくことで、断面の形状寸法や配筋状態、使用材料、荷重載荷位置、境界条件、補修・補強の有無によらずに、疲労破壊を評価できる。また、応答値の算定と限界値の設定を適切に行えば、材料劣化が生じる部材に対する評価にも拡張可能と考えられる。

2.2 主圧縮応力 σ'_2 を算定するための力学モデル

RC 床版の応力度算定に関する既往の研究として、園田ら³⁾は、アスファルト舗装および RC 床版を 2 層弾性板と見なし、舗装表面に作用するタイヤの接地圧が床版断面内にどのような応力および断面力を発生させるかを 3 次元弾性理論に基づいて調べている。これに対して、本稿では、RC 床版の応力度をより簡易に算出できるように、床版を 2 次元の梁部材に置き換えて応力度を算出できる力学モデルを提案する。面部材の押抜きせん断破壊に対しては、有効幅を設定することで梁として部材の耐力を評価する手法は既に提案されており^{4),5)}、これらの

*1 北武コンサルタント (株) 技術部 修士(工学) (正会員)

*2 北武コンサルタント (株) 取締役副社長 博士(工学) (正会員)

*3 (株) コムスエンジニアリング 代表取締役 博士(工学) (正会員)

*4 三菱樹脂インフラテック (株) 防水補強部 博士(工学) (正会員)

手法を参考にしたものである。

単純支持された RC 床版を対象に、力学モデルを示す。本手法において、RC 床版の疲労破壊は、図-1 中に示す荷重位置近傍の圧縮領域のコンクリートが、輪荷重の繰返しによる圧縮疲労によって損傷するものと仮定する。以下に、この位置の主圧縮応力の算定式を示す。

まず、荷重版端部を着目断面とすると、着目断面の曲げモーメントおよびせん断力は、式(2)で表される。

$$M = \frac{P \cdot l_2}{l} \cdot \left(l_1 - \frac{b_p}{2} \right), \quad S = \frac{P \cdot l_2}{l} \quad (2)$$

ここに、 M : 曲げモーメント(N・mm), S : せん断力(N), P : 荷重荷重(N), l : スパン(mm), l_1, l_2 : 両支点から荷重版中心までの距離(mm), b_p : 荷重版幅(mm)である。

上下面の鉄筋を考慮したひび割れ断面を仮定すると、圧縮域の直応力度 σ_x, σ_y は式(3)で表される。

$$\sigma_x = \frac{M}{I} y, \quad \sigma_y = 0 \quad (3)$$

$$I = \frac{b_w \cdot x^3}{3} + n \cdot A'_s \cdot (x - d')^2 + n \cdot A_s \cdot (d - x)^2$$

$$x = -\frac{n(A_s + A'_s)}{b_w} + \sqrt{\left[\frac{n \cdot (A_s + A'_s)}{b_w} \right]^2 + \frac{2n}{b_w} (A_s \cdot d + A'_s \cdot d')}$$

ここに、 I : 中立軸まわりの断面二次モーメント(mm⁴), y : 中立軸からの距離(mm), b_w : 断面幅(mm), x : 中立軸から圧縮縁までの距離(mm), n : ヤング係数比, A'_s : 上面側鉄筋断面積 (mm²), A_s : 下面側鉄筋断面積 (mm²), d' : 上面側鉄筋の重心から圧縮縁までの距離(mm), d : 下面側鉄筋の重心から圧縮縁までの距離(mm)である。

一方、中立軸より上側のコンクリート断面を仮定すると、せん断応力度 τ_{xy}, τ_{yx} は式(4)で表される。

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \frac{S \cdot G_{yc}}{I_{yc} \cdot b_w} \quad (4)$$

$$G_{yc} = \int_A y_c \cdot dA = \frac{b_w}{2} \left\{ \left(\frac{x}{2} \right)^2 - y_{c1}^2 \right\}, \quad I_{yc} = \frac{b_w \cdot x^3}{12}$$

ここに、 G_{yc} : 圧縮域図心まわりの断面一次モーメント(mm³), I_{yc} : 圧縮域図心まわりの断面二次モーメント(mm⁴), y_c : 圧縮域図心からの距離(mm)である。

式(3)および式(4)に示した圧縮領域の直応力度とせん断応力度を用いて、主圧縮応力度と主圧縮応力の角度は、式(5)および式(6)で表される。本稿では、圧縮応力度の符号を正とし、以後、 σ'_2 として表す。

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (5)$$

$$\tan 2\phi_p = \frac{\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)/2} \quad (6)$$

本稿においては、断面幅 b_w の算出に、RC 床版の断面幅に関する算定式である式(7)および式(8)を用いる。

$$b_w = v + 2.4l_1 \cdot (1 - l_1/l) \quad (7)$$

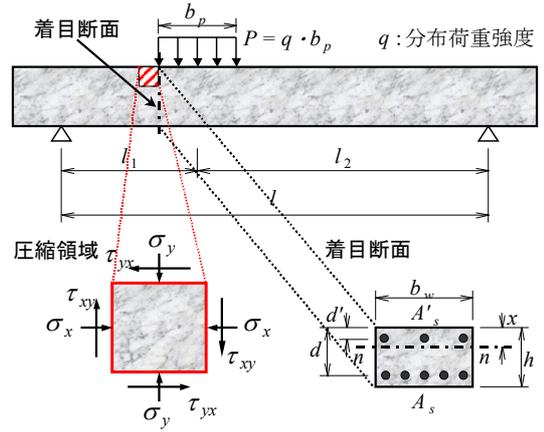


図-1 主圧縮応力算定用力学モデル

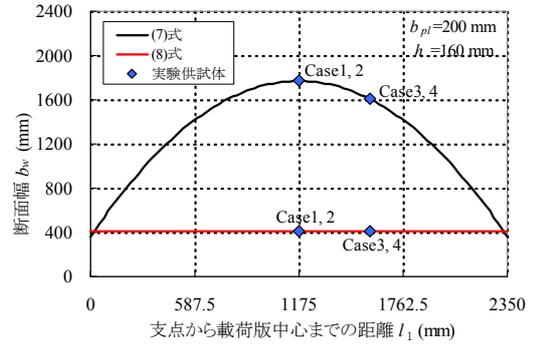


図-2 有効幅と荷重位置の関係

ここに、 v : 集中荷重の分布幅であり $v = b_{pl} + h$, b_{pl} : 荷重版の走行方向の1ブロック当りの長さ(mm)である。

$$b_w = b_{pl} + 2d_d \quad (8)$$

ここに、 d_d : 床版下面側の輪荷重走行方向に配筋された軸方向鉄筋の有効高(mm)である。

式(7)は、集中荷重を受ける単純支持された一方方向スラブの有効幅の算出式⁶⁾である。一方、式(8)は、松井¹⁾により提案されたRC床版の梁状化の梁幅の算定式である。図-2に、次章に示す実験供試体を例に、式(7)および式(8)から算出される断面幅を示す。

2.3 コンクリートの圧縮疲労強度 f'_{cr} の算定式

コンクリートの圧縮疲労強度 f'_{cr} は、土木学会コンクリート標準示方書⁶⁾より、式(9)で表される。

$$f'_{cr} = k_{lf} \cdot f'_c \cdot (1 - \sigma'_p / f'_c) \cdot \left(1 - \frac{\log N}{K} \right) \quad (9)$$

ここに、 f'_c : コンクリートの圧縮強度であり $f'_c \leq 50$ N/mm², σ'_p : コンクリートの最小応力度または永久作用により生じる圧縮応力度, N : 疲労寿命(回)であり $N \leq 2 \times 10^6$ 回, K : 普通コンクリートで気乾状態にある場合には $K=17$, k_{lf} : 圧縮および曲げ圧縮に対しては $k_{lf}=0.85$ である。ただし、式(9)は、95%以上の生存確率を有するように係数 K が定められた式である⁷⁾。

2.4 等価繰返し回数の算出

3章に示す輪荷重走行試験は、走行回数に応じて荷重

表-1 実験ケース

	載荷位置	補強の有無	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
Case1 ⁸⁾	中央載荷	無補強	43.23	25.4
Case2		CFRP下面補強	45.03	27.3
Case3	偏心載荷	無補強	43.82	23.6
Case4		CFRP下面補強	43.04	26.1

表-2 供試体諸元

		走行直角方向	走行方向
鉄筋 SR235	鉄筋径 (mm)	φ 16	φ 13
	配置間隔 (mm)	上面側	260
下面側		130	230
CFRP プレート	幅 (mm)	100	
	厚さ (mm)	1.2	
	ヤング係数 (kN/mm ²)	170	
	配置間隔 (mm)	330	
補強剛性 (kN/mm)		62	

強度を増加させる載荷方法により試験を実施している。このように、荷重強度が変化する場合には、基準とする荷重強度に対する等価繰返し回数を求める必要がある。式(9)より、基準荷重 P_b に対する等価繰返し回数 N_b は、式(10)より求めることができる。

$$N_b = \sum_{i=1}^m n_i \cdot 10^{\frac{17(\sigma'_{2i} - \sigma'_{2b})}{0.85 \cdot f_c (1 - \sigma_p / f_c)}} \quad (10)$$

ここに、 n_i : i 段階目の荷重ステップ (荷重 P_i) の走行回数、 σ'_{2i} : i 段階目の荷重ステップ (荷重 P_i) のコンクリートの主圧縮応力度、 σ'_{2b} : 基準荷重 P_b のコンクリートの主圧縮応力度である。

2.5 せん断補強筋のない部材の疲労耐力による評価

本稿では、これまでに示した主圧縮応力度に基づく疲労破壊の評価に加えて、以下に示すせん断補強鉄筋のない棒部材のせん断疲労耐力 V_{rc} ⁶⁾ に基づく評価を試みる。

$$V_{rc} = V_c (1 - V_p / V_c) \cdot \left(1 - \frac{\log N}{11} \right) \quad (11)$$

ここに、 V_c : せん断補強鋼材を用いない棒部材のせん断耐力⁶⁾、 V_p : 永久荷重によるせん断力である。

式(11)より、基準荷重 P_b に対する等価繰返し回数 N_b は、式(12)より求めることができる。

$$N_b = \sum_{i=1}^m n_i \cdot 10^{\frac{11(V_i - V_b)}{V_c (1 - V_p / V_c)}} \quad (12)$$

ここに、 V_i : i 段階目の荷重ステップ (荷重 P_i) のせん断力、 V_b : 基準荷重 P_b のせん断力である。

本節に示したせん断疲労耐力による評価の限界値 (式(11)) と等価繰返し回数 (式(12)) は、先に示した主圧縮応力度による評価における、式(9)と式(10)に相当する。

3. 下面補強した RC 床版の輪荷重走行試験

3.1 輪荷重走行試験の概要

CFRP 下面補強を行った実物大 RC 床版の輪荷重走行

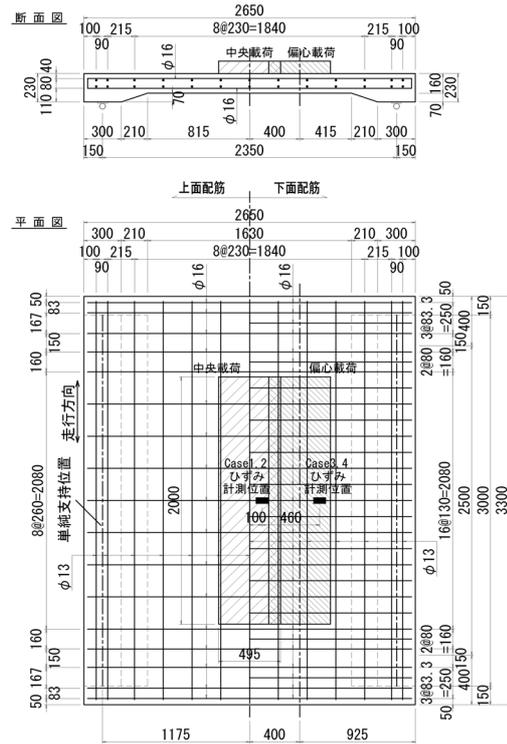


図-3 供試体形状および配筋詳細

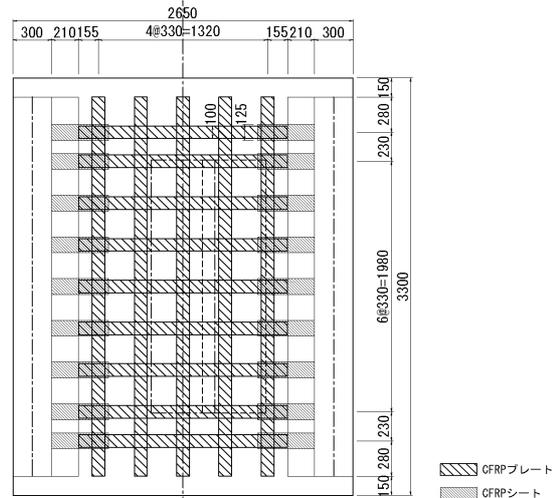


図-4 補強概要 (Case2, Case4 共通)

試験の結果に対して、提案した疲労破壊の評価手法の妥当性の検証を試みる。本章では、対象とする輪荷重走行試験の概要を示すと同時に、圧縮疲労損傷の観点から下面補強による疲労寿命増加メカニズムを考察する。

検討に用いる試験は、表-1 に示す CFRP 下面補強の有無と輪荷重の走行位置について異なる 4 体の実物大床版の輪荷重走行試験である。実験供試体は、昭和 40 年頃に架設された実橋梁の RC 床版を模擬して製作した。

床版厚は 160 mm で、鉄筋には丸鋼 (SR235) が使用されている。図-3 に、配筋詳細を示す。Case2 および Case4 の補強材は、図-4 に示すように、CFRP プレート格子状に貼り付けており、ハンチ部周辺は CFRP シー

トを用いて定着した。供試体の諸元を表-2に示す。

輪荷重走行試験では、供試体を2辺単純支持し、走行方向の端部を横梁により弾性支持した。輪荷重は、幅495mmの載荷板上を2000mmの範囲で鉄輪を往復させることにより載荷した。輪荷重の走行位置は、図-3に示したとおり、中央載荷（Case1, Case2）が供試体中央、偏心載荷（Case3, Case4）が供試体中央から走行直角方向へ400mmの位置とした。輪荷重の荷重強度は、走行開始から120kN-10万回、130kN-10万回、150kN-10万回、170kN-10万回、200kN-38万回、230kN-10万回、260kN-10万回の順に走行回数に応じて階段状に増加させた。なお、補強供試体は、予め150kN-1千回まで載荷を行った後に補強材を施工して上述の載荷を行った。

3.2 試験結果と下面補強による疲労寿命増加メカニズム

輪荷重走行試験から得られた破壊に至るまでの荷重と走行回数を表-3に、床版中央部の鉛直変位と走行回数の関係を図-5に示す。床版中央部の鉛直変位が急増し始める点を破壊時とみなし、図中に矢印で示した。なお、図に示した鉛直変位は、輪荷重の走行開始前を基準とした鉛直変位を表している。

図-5から、中央載荷と偏心載荷のいずれにおいても、無補強供試体に比べて補強供試体で破壊時の走行回数が大幅に増加している。また、下面補強により剛性が増加するため、同じ走行回数の段階で比較すると、補強供試体の方が鉛直変位が小さい傾向が確認できる。なお、破壊時の状況から、いずれの供試体も押抜きせん断破壊であった。また、実験時の観察から、補強供試体（Case2, Case4）の補強材と床版コンクリートの接着は、走行範囲周辺で部分的な剥離が確認されたものの、中央載荷と偏心載荷ともに破壊直前まで定着された状態にあった。

次に、下面補強による疲労寿命増加メカニズムを考察する。RC床版のせん断力は、圧縮域コンクリート、ひび割れ面での骨材の噛み合わせ、軸方向鉄筋のダウエル作用等によって伝達されるものと考えられる。ひび割れ面での骨材の噛み合わせは、繰返し移動荷重を受ける過程で喪失するものと考えられる。また、軸方向鉄筋のダウエル作用は他の項目に比べると小さいものと仮定すれば、RC床版の疲労破壊は、輪荷重の繰返し載荷による圧縮域コンクリートの圧縮疲労損傷によって部材が耐力を失うことで、疲労寿命を迎えるものと考えられる。

図-6に、中立軸位置と走行回数の関係を示した。ここに示した中立軸位置は、走行直角方向の鉄筋に対する上面側と下面側のひずみ計測値に基づき算出している。各供試体のひずみの計測位置を、図-3中に示した。

図から、無補強供試体（Case1, Case3）に比べて、補強供試体（Case2, Case4）で、同じ走行回数の段階で比べて中立軸位置が低く、圧縮領域が広いことが確認できる。

表-3 各供試体の走行回数（試験結果）

載荷荷重	走行回数(回)			
	中央載荷		偏心載荷	
	無補強	補強	無補強	補強
	Case1	Case2	Case3	Case4
120	100,000	100,000	100,000	100,000
130	100,000	100,000	100,000	100,000
150	100,000	100,000	100,000	100,000
170	100,000	100,000	100,000	100,000
200	10,000	380,000	15,000	380,000
230	—	100,000	—	32,000
260	—	1,000	—	—

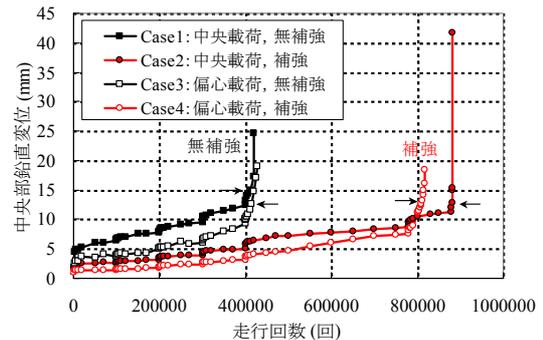


図-5 走行範囲中央部鉛直変位—走行回数関係

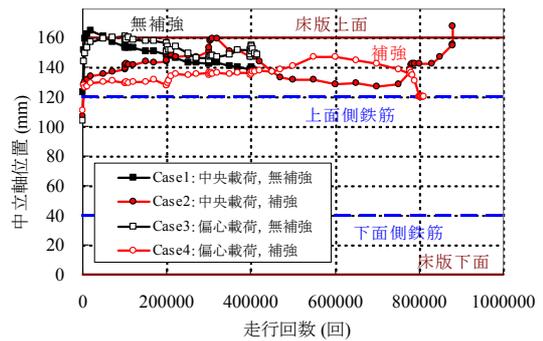


図-6 中立軸位置—走行回数関係

これは、補強供試体においては、部材の曲げ変形に対して補強材と下面側鉄筋が分担して引張力を負担するためと考えられる。計測結果から、同じ走行回数で比較すると、無補強供試体に比べて補強供試体で下面側の鉄筋のひずみが小さい傾向が確認された。なお、無補強供試体において、中立軸位置が床版上面を超えている箇所が見られる。これは、実験供試体には丸鋼を用いているため、鉄筋とコンクリート間で付着すべりが生じていることが影響しているものと考えられる⁹⁾。

以上の通り、下面補強を行った場合には、鉄筋と補強材が分担して引張力を負担するため、中立軸高さが下がるものと考えられる。従って、同じ荷重強度が載荷された場合には、無補強供試体に比べて補強供試体の方が、コンクリート圧縮域に生じる応力度が小さい。そのため、応力度の振幅が小さい補強供試体の方が、圧縮域コンクリートの圧縮疲労損傷に対する疲労寿命が大きくなり、輪荷重の走行回数が増加するものと推察される。

4. 疲労破壊評価手法の適用性の検討

3章に示した輪荷重走行試験結果に基づき、提案した疲労破壊評価手法の妥当性を検討する。

図-7に、Case1の供試体の断面諸元および材料特性に対して、幾つかの荷重位置 l_1 に荷重150kNを載荷した際の主圧縮応力度 σ'_2 (式(5))の断面高さ方向の分布を示した。断面幅は、式(7)と式(8)により算出した結果を示している。図から、荷重位置がスパン中央付近 $l_1=1175\sim 775$ mmの場合には、曲げモーメントによる直応力が支配的であり、主圧縮応力は、中立軸から床版上面に向けて直線的に分布している。このとき、主圧縮応力度の最大値も床版上面(圧縮縁)となっている。一方、荷重位置が支点に近い $l_1=250$ mmにおいては、せん断力による応力が支配的となり、主圧縮応力は、放物線状に分布し、主圧縮応力度の最大値は、圧縮域の中央高さ付近となる。

図-8には、各供試体の輪荷重走行位置に荷重150kNを載荷した際の主圧縮応力度 σ'_2 の断面高さ方向の分布を示した。断面幅は、式(7)により算出した結果を示している。なお、下面補強された供試体Case2, Case4においては、補強材を補強量とヤング係数比に基づき引張鋼材($E_s=200$ kN/mm²)として考慮している。図から、同じ荷重位置の供試体を比べると下面補強により中立軸高さが下がるとともに、主圧縮応力度の最大値も小さくなる事が確認できる(Case1とCase2, Case3とCase4)。

図-9に、式(5)から算出される主圧縮応力度 σ'_2 を、各供試体の150kN等価繰返し回数に対して式(9)から算出される圧縮疲労強度 f'_{cr} で除した σ'_2/f'_{cr} と、断面幅 b_w の関係を示した。ここで、 σ'_2 は、断面幅の算出式として式(7)または式(8)を用いた場合それぞれについて、圧縮域の最大値または図心位置の値を用いた。また、各供試体の150kN等価繰返し回数は、表-3に示した走行回数の試験結果に基づき式(10)により換算して求めた。

図-9において、 σ'_2/f'_{cr} が1となる事が評価手法として適切であるが、図のように断面幅の算出に式(7)を用いた場合に σ'_2/f'_{cr} は1より小さく、断面幅の算出に式(8)を用いた場合に大きい。このとき、式(7)による結果(図中、□および○のプロット)では、補強の有無について異なる中央荷重の供試体(Case1, Case2)と偏心荷重の供試体(Case3, Case4)ごとに、プロットの位置がほぼ一致している。このことは、本稿に示した評価手法によれば、断面幅を適切に設定することで、RC床版の補強の有無に関らず疲労破壊の評価が可能であることを示唆しているものと考えられる。ただし、式(7)により断面幅を設定した場合には、上述のように σ'_2/f'_{cr} が1より小さく評価されている。この要因として、移動荷重によって広範囲に損傷が発生することや、本検討で対象とした実験供試体が丸鋼を使用していることによる断面幅の算定

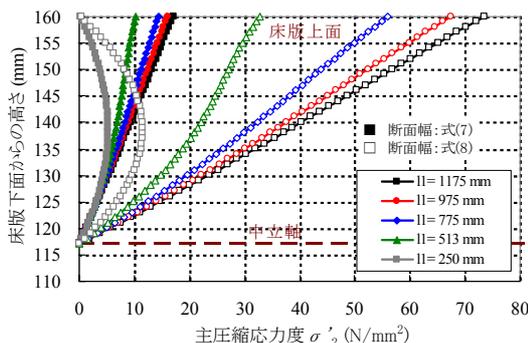


図-7 主圧縮応力の高さ方向分布の算出例 (150kN)

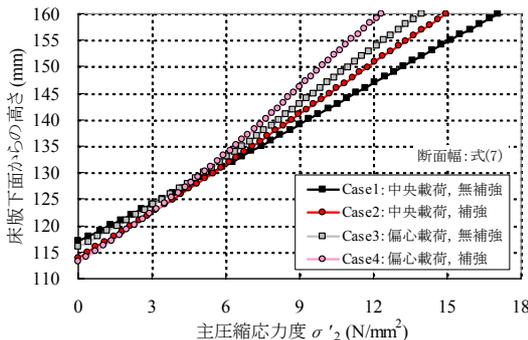


図-8 各供試体の主圧縮応力の高さ方向分布 (150kN)

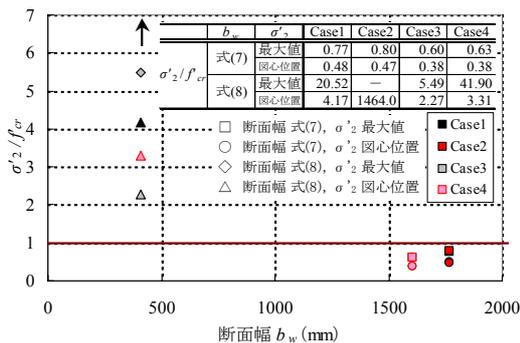


図-9 σ'_2/f'_{cr} と断面幅 b_w の関係 (150kN)

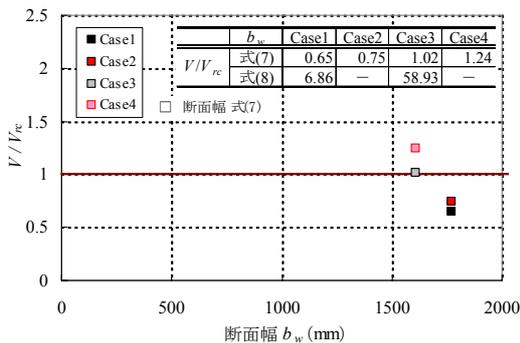


図-10 V/V_{rc} と断面幅 b_w の関係 (150kN)

式(7)の適用性の問題が挙げられる。これに加えて、提案した力学モデルは応力度の最小値を0、最大値を主圧縮応力度 σ'_2 とした振幅によって疲労寿命を評価するのに対して、輪荷重走行試験において、輪荷重は限られた区間を往復移動することによる応力履歴や、輪荷重の移動により主圧縮応力の方向が回転することの影響が考

えられる。

図-10には、式(2)により荷重位置に応じて算出されるせん断力 V を、各供試体の 150 kN 等価繰返し回数に対して式(11)から算出されるせん断補強鉄筋のない棒部材のせん断疲労耐力 V_{rc} で除した値 V/V_{rc} と断面幅 b_w の関係を示した。ここで、せん断疲労耐力 V_{rc} は、断面幅を式(7)と式(8)を用いた場合の 2 通りとした。各供試体の 150 kN 等価繰返し回数は、表-3 に示した試験結果に対して式(12)により換算して求めた。なお、補強した供試体 (Case2, Case4) のせん断補強鋼材を用いない棒部材のせん断耐力 V_c を算出する際には、下面補強材をヤング係数に基づき鋼材換算して、引張鉄筋と見なして考慮した。

図から、断面幅の算定式として式(7)を用いた場合に、4 体の供試体でばらつきが見られるものの、 V/V_{rc} は 1 に近い値となっている。このことは、せん断補強鉄筋のない棒部材のせん断疲労耐力 V_{rc} によっても、疲労破壊を評価できる可能性を示唆しているものと考えられる。ただし、断面幅の算定式として式(8)を用いた場合には、図中の表に値を記載したとおり、 V/V_{rc} は図示した縦軸の範囲を超えた大きな値となった。

以上の検討により、RC 床版の下面補強の有無に関らず、本稿で提案した力学モデルにより、床版の疲労破壊に対する評価が可能であることが示唆された。断面幅や圧縮疲労強度に対して提案した評価手法を拡張すれば、鉄筋種別 (異形鉄筋、丸鋼) や、樹脂モルタルによる断面補修や凍害等のコンクリートの材料劣化の影響などを考慮して、床版の疲労破壊に対する評価が可能と考えられる。ただし、補修・補強が行われた床版の疲労破壊に対しては、補修・補強材料と既設コンクリート界面の付着 (接着) の疲労破壊等の破壊形態に対する照査も、別途必要となる場合があることに注意が必要である。

5. おわりに

本検討では、圧縮域コンクリートの圧縮疲労損傷に基づく、RC 部材の疲労破壊の評価手法を提案した。この評価手法は、コンクリートの圧縮疲労損傷に基づくため、部材に対する補修・補強の有無や荷重の荷重位置に関らず適用できる手法である。本稿では、CFRP 下面補強を行った実物大 RC 床版の輪荷重走行試験結果を例に、提案した手法の妥当性を検証した。主な内容は、以下の通りである。

- 1) 圧縮域コンクリートの圧縮疲労損傷に基づく RC 床版の疲労破壊に対する安全性の評価手法として、主圧縮応力を応答値、圧縮疲労強度を限界値とした評価手法を示した。
- 2) RC 床版に作用する主圧縮応力を求めるための力学モデルを示した。力学モデルは、断面幅を設定する

ことで RC 床版を 2 次元の梁部材に置き換えて、コンクリート圧縮域に作用する主圧縮応力を求めるものである。本稿では、梁部材に置き換える際の断面幅の算定式として、RC 床版に関する 2 つの断面幅の算定式を例示した。

- 3) RC 床版の輪荷重走行試験結果を対象に、本稿で示した疲労破壊の評価手法の妥当性を検証した。その結果から、梁部材に置き換える際の断面幅を適切に設定することで、補強の有無や荷重載荷位置に関らず、本手法により疲労破壊の評価が可能となることが示唆された。

本稿で示した評価手法の実用化に向けた今後の課題として、数値解析や RC 床版の疲労載荷試験に基づく力学モデルの断面幅の設定方法の検討が挙げられる。また、本稿で示した輪荷重走行試験結果は丸鋼を用いた供試体のものである。今後、鉄筋種別による圧縮域の違いについても検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版株式会社，2007.10
- 2) 藤山知加子，商 峰，櫻井信彰，前川宏一：直接経路積分法に基づく鋼コンクリート合成床版の疲労寿命推定と損傷モード，土木学会論文集 A, Vol.66, No.1, pp.106-116, 2010.3
- 3) 園田恵一郎，堀川都志雄：道路橋床版の輪荷重直下の応力の算定について，土木学会論文報告集, No.273, pp.15-22, 1978.5
- 4) 谷村幸裕，二羽淳一郎，渡邊忠朋，佐藤 勉，鈴木裕隆，吉田幸司：スターラップを有する杭基礎フーチングのせん断耐力評価に関する研究，土木学会論文集, No.795, pp.127-143, 2005.8
- 5) 石橋忠良，松田好史，斉藤啓一：少数本の杭を用いたフーチングのせん断設計について，土木学会論文報告集, No.337, pp.197-204, 1983.9
- 6) 土木学会：2007 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，2008
- 7) 土木学会：コンクリート構造の限界状設計法指針 (案)，コンクリートライブラリー第 52 号，pp.285-300, 1983.11
- 8) 赤代恵司，三田村浩，渡邊忠朋，岸 徳光：鉄筋の付着特性が RC 床版の疲労特性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.727-732, 2010
- 9) 赤代恵司，三田村浩，渡邊忠朋，岸 徳光：丸鋼鉄筋を用いた RC 床版の疲労特性に関する実験的研究，構造工学論文集, Vol.57A, 2011.3