

凍害劣化を受けるRC床版に関する実験的研究

Experimental study on reinforced concrete slab suffered by freezing and thawing deterioration

社団法人北海道開発技術センター
北武コンサルタント株式会社
独立行政法人土木研究所寒地土木研究所
室蘭工業大学大学院

正会員 ○赤代 恵司 (Shakushiro Keiji)
正会員 渡邊 忠朋 (Tadatomo Watanabe)
正会員 三田村 浩 (Hiroshi Mitamura)
フェロー 岸 徳光 (Norimitu Kishi)

1. 目的

北海道では、表面部のコンクリートが凍害劣化を受けることによって、床版に損傷が発生して疲労寿命を低下させる事例があり、供用された実物の床版を用いた載荷実験によって、その事実が明らかになっている。
そこで、本研究では、補強工法に関する検討を行うために、凍害劣化をモデル化した供試体と、修復工法の効果に着目した供試体を作成して、載荷実験を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

供試体は、昭和 39 年に施工された実橋梁の床版をモデルとして設定し、幅 2650mm×長さ 3300mm×厚さ 160mm の RC 床版とした。鉄筋については、実橋に合せて SR235 の丸鋼を用いている。表 1 に供試体の材料諸元を、図 1 に供試体の配筋図を示す。
実験は、床版上面の凍害劣化をモデル化した供試体 (CASE1) と CASE1 に対して床版上面の補修・下面の補強を施した供試体 (CASE2) の 2 供試体で実施した。CASE2 供試体は図 2 に示す順序で凍害劣化を受けた RC 床版の補修・補強を再現した供試体とした。
CASE2 供試体の下面側の補強は、低温下でも接着可能な、炭素繊維をストランド状に加熱成形した後にすだれ状に織りこんだ繊維シート (以下：ストランド型繊維シート) を、格子状に 25cm 幅のシートを 10cm 間隔で接着

した。写真 1 に下面側の繊維シート貼付状況を示す。写真 2 には、上面側の断面修復の状況を示す

表 1 供試体諸元

		CASE1	CASE2	備 考
		基準供試体	補強供試体	
床版厚(mm)	mm	160	160	
鉄筋量				
上面主鉄筋	径-間隔	φ 16-260	φ 16-260	
下面主鉄筋		φ 16-130	φ 16-130	
上面配力筋		φ 13-230	φ 13-230	
下面配力筋		φ 13-230	φ 13-230	
コンクリート強度	N/mm ²	43.23	45.3	
鉄筋の降伏強度	N/mm ²	235	235	SR235
下面側補強材	-	-	炭素繊維シート	ストランド型
目付け量	g/m ²	-	600	
引張強度	N/mm ²	-	3400以上	
ヤング係数	kN/mm ²	-	245	

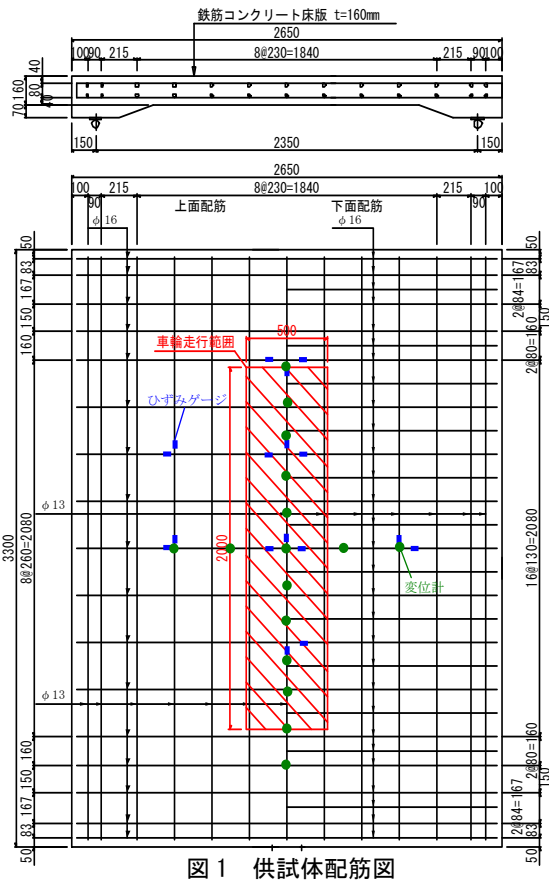


図 1 供試体配筋図

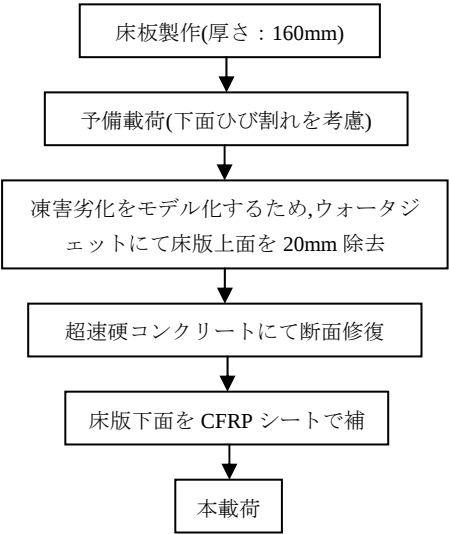


図 2 CASE2 供試体の実験フロー

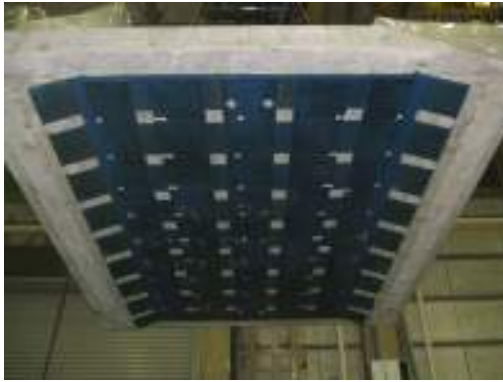


写真1 補強供試体-下面側繊維シート貼付け状況



写真3 補強供試体-上面側断面修復状況

δ_c : 中立軸以下の引張コンクリートを無視した
床版中央におけるたわみ (計算値)
(=6.42mm)

劣化度 0.5 相当の活荷重たわみ

$$\delta = 0.5 \times (\delta_c - \delta_0) + \delta_0$$

$$= 0.5 \times (6.42 - 1.62) + 1.62 = 4.02\text{mm}$$



写真4 輪荷重走行試験機(クランク式)

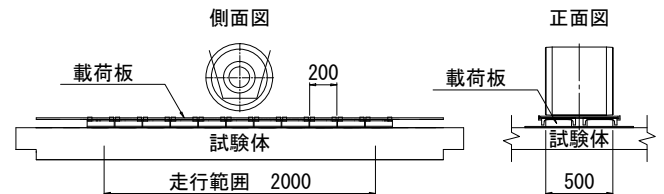


図3 輪荷重の荷重状況図

2.2 荷重の荷重方法

実験には、クランク式の輪荷重走行試験機を用いた。

写真4に輪荷重走行試験機を示す。

供試体は2辺単純支持、2辺弾性支持とし、スパン中央部の幅500mmの荷重板上の2000mm範囲に鉄輪を往復させて荷重した。図3に輪荷重の荷重状況図を示す。

補強供試体は、初期損傷を与えるために予備荷重をおこなった。

予備荷重は、一般的に疲労劣化で補修が必要となるひび割れを再現するため、劣化度を0.5相当に設定し、そのたわみの目標値を設定して荷重した。なお、劣化度とたわみの関係は式(1)により算定し、劣化度を0.5として、以下に示すように、たわみ4.02mmとした。その結果、150kN×2千回荷重にて活荷重たわみが目標値に達し予備荷重を終了した。

その後、床版下面に繊維シート補強を施し本荷重に移行した。図4に荷重プログラムを示す。CASE2の補強供試体は、120kN-10万回、130kN-10万回、150kN-10万回、170kN-10万回、200kN-10万回、230kN-10万回、260kN-6.2万回まで荷重漸増荷重にて破壊まで行った。

CASE1 供試体については、120kNから荷重漸増荷重にて破壊まで実施した。

$$D = (\delta - \delta_0) / (\delta_c - \delta_0) \quad (1)$$

ここに、

D : 劣化度 ($0 < D \leq 1$)

δ : 床版中央におけるたわみ (実測値)

δ_0 : 全断面のコンクリートを有効と見なした時の床版中央におけるたわみ (計算値)
(=1.62mm)

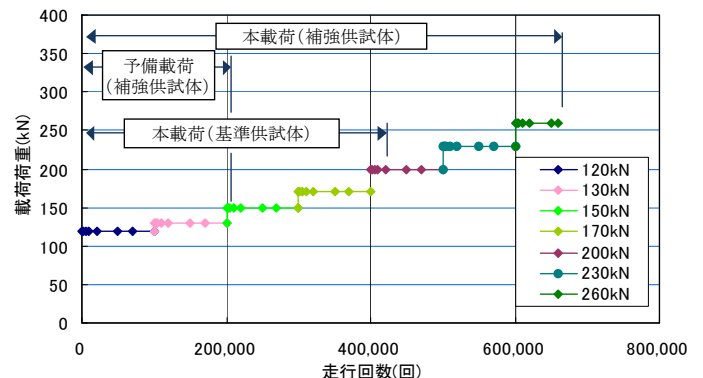


図4 荷重荷重プログラム

3. 実験結果および考察

3.1 破壊状況

図5に、CASE1 および CASE2 供試体の走行回数とたわみの関係を示す。

図6には、CASE1 供試体の実験終了時のひび割れ図を、写真5, 6, 7にはCASE1, CASE2 供試体の実験終了時の写真示す。なおCASE2 供試体については、補強材である繊維シートで覆われているため、ひび割れ図の作成が困難であった。

CASE1 供試体では200kN×1.8万回荷重時(総荷重回数41.8万回)に、活荷重たわみが11.2mmに増加し、床版下面側の押抜きせん断破壊により終局に至った。ひび割れ密度は、120kN×10万回で5m/m²に達し、130kN×10万回で7.5m/m²に達した。以降は破壊に至るまで緩やかに増えて行き、破壊時には8.7m/m²程度であった。剥落は、中央から主鉄筋方向に約50~75cmの位置

で発生している。

CASE2 供試体では 260kN×6.2 万回載荷時(総載荷回数 66.2 万回)に、活荷重たわみが 16.2mm に増加し、床版下面側の押抜きせん断破壊により終局に至った。下面の繊維シートは全体的に剥離して、端部のみが接着してハンモックのように吊り下がった状態で終了した。しかし、シートの破断はなく、剥離に関しても、コンクリートとシートの接着面が剥がれたのではなく、両者は接着したままの状態でのコンクリートの押し抜きせん断面から剥離していた。

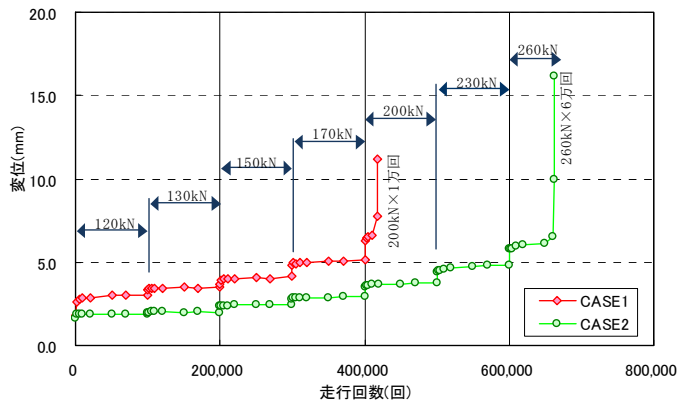


図5 走行回数と変位の関係

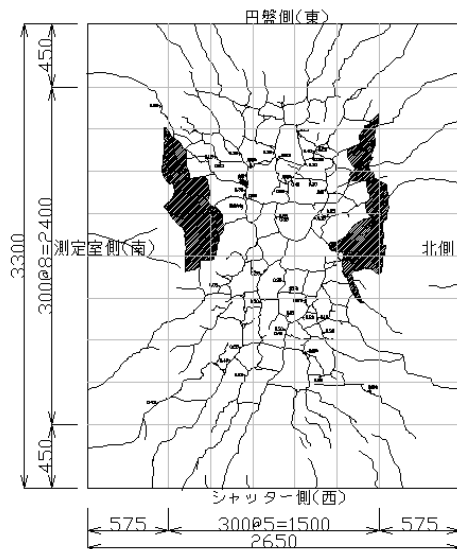


図6 CASE1 供試体ひび割れ図(実験終了時)



写真5 CASE1 供試体-実験終了時



写真6 CASE1 供試体-実験終了時

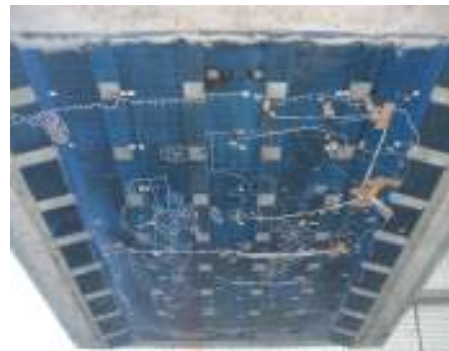


写真7 CASE2 供試体-実験終了時

3.2 剛性

図7に①初期載荷時、②予備載荷時、③上面側のコンクリートの切削後の載荷時、④上面側のコンクリートの補修後の載荷時、および⑤下面側の連続繊維シート補強後の載荷時の各状態別の荷重(P)とたわみ(δ)関係から算定した剛性($K=P/\delta$)を示す。

①の初期剛性に対して②の予備載荷時の剛性は大きく低下している。これは、輪荷重の繰返し載荷により下面側に発生したコンクリートのひび割れによる剛性低下の影響と考えられる。

併せて、③の凍害劣化を模擬して2cm切削した場合は、最も大きく剛性が低下している。これは、上面の切削による圧縮抵抗領域の低下による影響と考えられる。また、④の上面側のコンクリートの補修後の載荷時では、予備載荷時の劣化状態と同程度の剛性に回復している。これは上面側に補修されたコンクリートが一体化していることを意味していると考えられる。これにより上面側の補修のみでも曲げ剛性の回復によるたわみが減少することから、この状態でも、一定の補強効果は得られるものと考えられる。ただし、すでに下面側に発生したひび割れの影響が残存するため、圧縮コンクリートの健全性によるせん断力の分担のみが補強効果として現れると考えられる。⑤の下面側の連続繊維シート補強後の載荷時では、繊維シートにより補強することで、剛性はほぼ初期剛性まで回復することが確認された。剛性が、ほぼ初期剛性まで回復することは、ひび割れ幅の載荷による振幅が抑制され、RC床版自体の変位が減少することを意味している。すなわち、連続繊維シートによって、ひび割れ面における応力振幅が減少し、はり状化から押抜きせん断破壊に

至る過程に対して、ひびわれ面の劣化が抑制されることが、連続繊維シートの補強効果の主要因として考えられる。

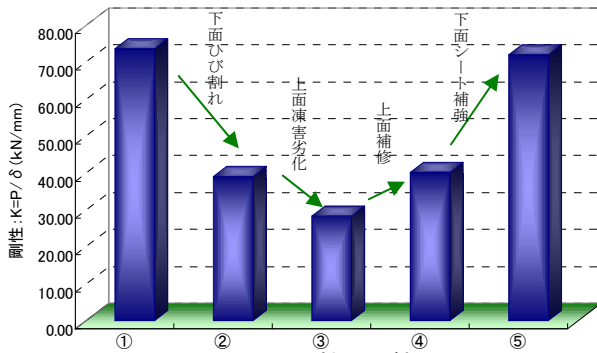


図7 剛性の比較

3.3 補強効果の推定

表2に破壊時の繰返し载荷回数(以下破壊回数)について、以下に示す理論式と実験値の比較を示す。なお、破壊回数は载荷荷重を150kN換算した値である。

理論式： $\log(P/P_{sx}) = -0.078351 \log N + \log C$

ここに、

P : 载荷荷重(kN)

P_{sx} : 梁状化したRC床版の押抜きせん断耐力(kN)

N : 繰返し回数(回)

C : 定数で、乾燥状態では1.52

なお、補強床版の破壊回数は、以下のように寿命増加率 αf から試算した。試算の結果寿命増加率は27.0倍となった。

$$\alpha f = \alpha n \cdot \alpha p \cdot \alpha c$$

ここに、

αn : シート補強の中立軸の移動に伴う増加率

αp : 床版の異方性度改善に伴う増加率

αc : ひび割れの拘束効果に伴う増加率

表2 繊維シート補強による延命効果

		基準供試体	補強供試体	比率 (補強/基準)
150kN換算破壊回数(回)	理論式	2,877,600	77,695,200	27.0
	実験結果	1,008,600	94,950,330	94.1

表2より、基準供試体においては、理論式の破壊回数は実験結果の破壊回数の、約3倍(288万回/101万回)となっている。これは、本実験では、鉄筋に丸鋼を使用しているため早期に鉄筋とコンクリートの付着破壊が生じ、鉄筋のダウエル作用によるひび割れ部のせん断ばね剛性が低下したため、劣化の進行速度が早まったことが要因の一つとして考えられる。補強供試体については、丸鋼鉄筋の付着力の低下が下面側の繊維シートの付着力によって抑制されたことにより理論式と実験結果に顕著な差異が見られなかったものとする。(7770万回/9495万回=0.81)

下面の繊維シート補強による補強による延命効果は、実験結果からは94倍。理論式では27倍となるが、上記の

理論式における破壊回数が実験結果の破壊回数の約3倍であることを考慮すれば、おおむね同等の結果が得られているものとする(27×3=81倍)。

4. まとめ

本研究は、積雪寒冷地において凍害劣化による上面コンクリートの損傷劣化部の除去・補修し、下面に連続繊維シート補強を施す補修補強工法の補強効果に関して輪荷重走行試験を実施して、その補強効果の検討を行った。以下に、本研究により得られた知見を要約して示す。

① 害や疲労損傷した床版について、上面の損傷部の除去・補修では初期剛性は回復できないが、ウォータージェットなどにより既設コンクリートと新設コンクリートの付着が確保できるような補修工法を用いることで、損傷部の補修により上面部が健全な状態の剛性まで回復することができる。なお、併せて、下面に連続繊維シート補強することで初期剛性まで回復が可能となる。

② 基準供試体に比べて、下面に繊維シート補強した供試体は、約94倍の寿命の延命効果が得られた。鉄筋が異形鉄筋の場合の破壊回数は、丸鋼の場合のおおむね3倍程度であることが示唆された。

③ 床版下面に、繊維シートで補強を施した場合には理論式と実験結果がほぼ近似しており、補強時は、丸鋼と異形鉄筋の付着強度の違いが、疲労寿命に与える影響として小さい可能性があることが示唆された。

今後は、丸鋼と異形鉄筋の影響に着目した実験・検討を実施して理論式と実験結果を精査していく予定である。

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，2007。
- 2) 三田村，佐藤，本田，松井：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，2009。
- 3) 安達，三田村，本田，松井：積雪寒冷地における橋梁床版の劣化度に関する考察，土木学会年次論文集，2008。
- 4) 小野，林川，三田村，松井：積雪寒冷地におけるRC床版の疲労耐久性向上について，土木学会年次論文集，2008。
- 5) 小林，蔡，下西，松井：炭素繊維シート格子接着工法により補強したRC床版の疲労耐久性，コンクリート工学年次論文集 Vol.27, No.2, 2005。
- 6) 松井繁之：道路橋床版—設計・施工と維持管理—，2007。
- 7) 前田，松井：輪荷重移動装置による道路橋床版の疲労に関する研究，第6回コンクリート工学年次講演会論文集，pp221-224,1984。
- 8) 道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上，(社)土木学会／鋼構造委員会，2004。