

塩害を受けた RC 床版への塩分浸透と耐荷力低下に関する実験研究

日大生産工（院） 野田 晃嗣 日大生産工 木田 哲量 日大生産工 阿部 忠
 太平洋コンサルタント 田中 敏嗣 日大生産工（非常勤講師）加藤 清志

1. はじめに

鋼道路橋 RC 床版のひび割れ損傷は、大型自動車の繰返し走行に起因した広義の疲労損傷であることが明らかにされている。一方、海岸部は飛来塩分による塩害、積雪寒冷地方では融雪剤および路面凍結防止剤(塩化ナトリウム)の散布などによる塩害も RC 床版の劣化に影響を及ぼす要因であると考えられている¹⁾。しかし、塩害を受けた RC 床版に走行荷重が作用した場合の破壊メカニズム、耐荷力等に関する研究は行われていないのが現状である。そこで本研究では、通常的环境下におかれた RC 床版供試体と塩害作用を与えた RC 床版供試体を用いた走行振動実験を行い、耐荷力および荷重とたわみの関係から塩害が RC 床版の力学特性に及ぼす影響について比較検討を行った。

2.1 使用材料

コンクリートには、普通ポルトランドセメントと最大寸法 20mm の粗骨材料を使用し、鉄筋には SD295A、D10 を用いた。本実験に用いた材料の力学特性値を表 - 1 に示す。また、凍結防止剤には塩化ナトリウムを用い、その成分を表 - 2 に示す。

2.2 供試体寸法および鉄筋の配置

供試体は、道路橋示方書・同解説（以下、道示）²⁾の規定に基づいて、大型車両の 1 日 1 方向あたりの計画交通量を 500 台未満を想定して寸法を定めて鉄筋を配置し、その 1/2 モデルとした。供試体寸法および鉄筋配置を図 - 1 に示す。供試体は、全長 147cm、支間 120cm の等方性版とした。鉄筋は複鉄筋配置とし、

表 - 1 材料特性値

コンクリート	鉄筋 (SD295A)		
	圧縮強度 N/mm ²	降伏強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²
	30.0	365	510

表 - 2 凍結防止剤の成分

CaCl ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	水不溶解分 (%)	PH (20'Be')
72.0 以上	0.005 以下	0.04以下	9 ~ 10

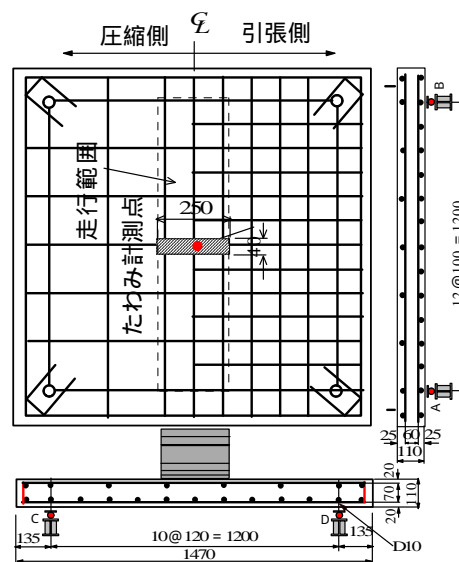


図 - 1 供試体寸法および鉄筋配置

軸直角方向および軸方向にそれぞれ 10cm、12cm 間隔で配置した。また、圧縮鉄筋量は引張鉄筋量の 1/2 とした。

3. 実験方法

3.1 実験装置の概要

本実験に用いた走行振動試験装置は、鋼製反力フレーム(400kN)のはりに、車輪（幅 = 25cm、直径 = 40cm）と油圧式の振動疲労試験機を固定し、供試体を設置した台車をモーターとクランク・アームにより水平方向へ往復

Experimental study on salt penetration and load-carrying capacity declining of RC slab act on salt damage

by Akitsugu NODA,

Tetsukazu KIDA, Tadashi ABE, Satoshi TANAKA and Kiyoshi KATOH

運動させて荷重の走行状態を実現するものである。ここで、走行振動試験装置を写真 - 1 に示す。

3.2 走行振動荷重による応力履歴 RC 床版の実験

実橋 RC 床版に対する大型自動車の走行振動による荷重変動を想定した振動荷重による走行振動荷重実験を行い、応力を履歴させる。まず、左支点 A に輪荷重を載荷し、支点 A から支点 B を 1 往復させる。本実験の荷重振幅は、基準荷重に対して $\pm 20\%$ 、 $\pm 30\%$ を条件とし、周期 1.8Hz の正弦波形で走行する。また、走行速度は 1 往復 2.4mm を 13sec で走行する 0.18m/sec とし、荷重は 1 走行ごとに 5.0kN ずつ増加する段階状荷重とした。応力履歴の荷重は、道示 に規定する活荷重に衝撃係数を考慮し、本供試体の縮尺に併せて 1/2 にした 60kN までとする。よって、走行振動荷重 $\pm 20\%$ の場合の最大荷重は 72kN、最小荷重は 48kN であり、走行振動荷重 $\pm 30\%$ の場合は最大荷重 84kN、最小荷重 42kN とした。走行振動荷重実験方法を図 - 2 に示す。

3.3 塩害作用を与えた RC 床版の作製方法

応力履歴を与えた RC 床版の上面にエンビ管で 110cm \times 110cm の枠を製作し、融雪剤、凍結防止剤である塩化ナトリウム 40g を週 3 回の間隔で 1 年 10 ヶ月間散布した。

3.4 塩害作用後の走行振動荷重実験

RC 床版および塩害作用を与えた RC 床版の耐荷力実験は、3.1 項で示した走行振動荷重実験である。走行振動荷重実験における荷重の大きさは、1 走行ごとに 5.0kN ずつ増加する段階荷重とし、破壊するまで荷重の増加と走行を繰り返す。耐荷力は一走行を維持した最大荷重とする。走行範囲を図 - 1 に示した。なお、RC

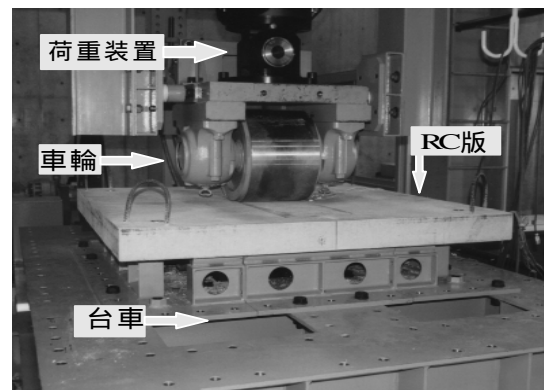


写真 - 1 実験装置(走行振動試験装置)

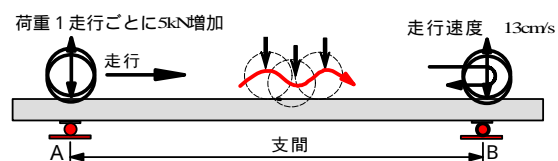


図 - 2 走行振動荷重実験

床版供試体の名称を RC-V20、RC-V30、塩害作用を与えた RC 床版供試体を S-RC-V20、S-RC-V30 とする。

3.5 EPMA による分析方法および結果

塩化物イオンの分析には、EPMA を用いた。コア試験体を縦半分に分断し、メタクリル樹脂により補強した後、切断面を観察面として研磨した。導電性を持たせる目的で観察面に炭素を蒸着し測定用試料とした。塩化物イオン Cl、カルシウム Ca、けい素 Si、および硫黄 S について、以下の条件で、個々のピクセル毎に定量し、それらを集積して面分析結果として表示した。測定条件を表 - 3 に示す。

次に、本供試体の EPMA による面分析の結果を写真 - 2 に示す。さらに面分析より得た供試体表面からの塩化物イオン濃度分析を一次元化し、浸透性を評価した結果を図 - 3 に示す。ここで、鋼材位置における塩化物イオンの発錆限界濃度³⁾とは、コンクリート単位容積当りの量として 0.3 ~ 2.4kg/m³ 程度であり、

表 - 3 EPMA 測定条件

加速電圧 (kV)	試料電流 (A)	プローブ径 (μm)	分光結晶	計数時間 (msec)	ビーム径 (μm)	標準試料
15	1 \times 10 ⁻⁷	100	Cl、S(PET) Si、Ca(TAP)	50	200	Cl(Halite、Cl=60.66%)、Si、Ca(Wollastonite、SiO ₂ =51.73% CaO=48.27%)、S(Anhydrite、SO ₃ =58.81%)

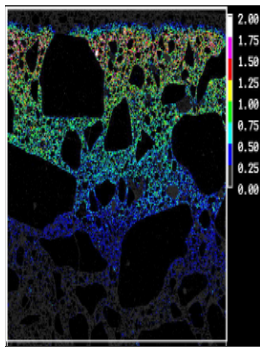


写真 - 2 EPMA 面測定結果

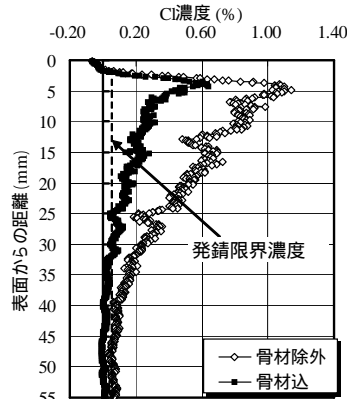


図 - 3 Cl 濃度と表面からの距離の関係

この値は構造物の設置環境や鋼材腐食許容量などの条件によって異なる。ここでは、構造物として問題となるレベルの鉄筋腐食発生という観点から、 1.2 kg/m^3 を限界値とした。

図 - 3 より、塩化ナトリウムを約 1 年 10 ヶ月散布した結果、塩化物イオンの浸透深さは約 30mm である。したがって、圧縮鉄筋の配置位置が床版表面から 20mm の位置であることから、その影響を受けることになる。しかし、本供試体は塩害作用期間が短いため、貫通ひび割れが生じた位置の鉄筋に錆がみられるものの、全体的には、ほとんど錆は発生していない。

4. 実験結果および考察

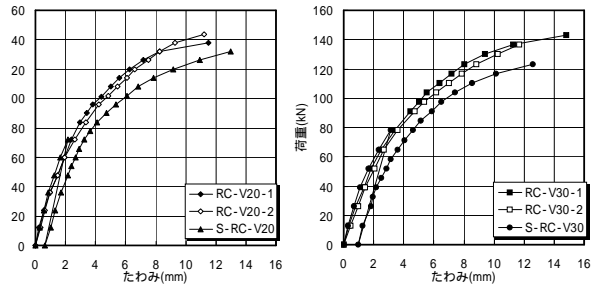
4.1 実験耐力力

RC 床版および塩害作用を与えた RC 床版の最大耐力力および破壊モードを表 - 4 に示す。

走行振動荷重 $\pm 20\%$ の平均耐力力は、RC 床版供試体 RC-V20 の場合は 141.6kN であり、塩害作用を与えた供試体 S-RC-V20 の場合は 131.8kN である。供試体 RC-V20 と供試体 S-RC-V20 の耐力力比は 0.93 となり、塩害を受けることにより 7%耐力力が低下した。また、走行振動荷重 $\pm 30\%$ の場合は、供試体 RC-V30 の耐力力は 140.5kN であり、供試体 S-RC-V30 は 123.5kN である。供試体 RC-V30 と供試体 S-RC-V30 の耐力力比は 0.88 となり、

表 - 4 実験耐力力および破壊モード

供試体	実験最大耐力 (kN)	平均耐力 (kN)	耐力力比	最大たわみ (mm)	破壊モード
RC-V20-1	137.9	141.6	—	11.5	押抜きせん断破壊
RC-V20-2	145.3			11.2	押抜きせん断破壊
S-RC-V20	131.8	131.8	0.93	13.0	押抜きせん断破壊
RC-V30-1	143.8	140.5	—	14.8	押抜きせん断破壊
RC-V30-2	137.1			11.7	押抜きせん断破壊
S-RC-V30	123.5	123.5	0.88	12.6	押抜きせん断破壊



(1) 走行振動荷重 $\pm 20\%$ (2) 走行振動荷重 $\pm 30\%$

図 - 4 荷重とたわみの関係

塩害を受けることにより 12%耐力力が低下した。したがって、走行振動荷重 $\pm 30\%$ の場合は走行振動荷重 $\pm 20\%$ の場合に比して 5%耐力力が低下している。

以上より、RC 床版は塩害を受けることにより、最大 12%耐力力が低下する結果となった。

4.2 荷重とたわみの関係

荷重とたわみの関係を図 - 4 に示す。なお、塩害作用を与えた供試体は、走行振動荷重による応力履歴時の残留たわみを初期値とした。また、荷重は走行振動荷重による上限荷重とする。

走行振動荷重 $\pm 20\%$ の場合の RC 床版供試体 RC-V20 のたわみは、荷重 70kN まで線形的に増加し、その後の荷重の増加でたわみの増加が著しくなった。また、最大荷重時のたわみは、供試体 RC-V20-1 で 11.5mm、供試体 RC-V20-2 で 11.2mm である。これに対して、塩害作用を与えた供試体 S-RC-V20 は、応力履歴時の残留たわみが 0.65mm であり、最大荷重時のたわみは 13mm となった。

走行振動荷重 $\pm 30\%$ の場合のたわみは、荷重 60kN まで線形的に増加し、その後の荷重の増加に対してたわみの増加が著しくなった。ま

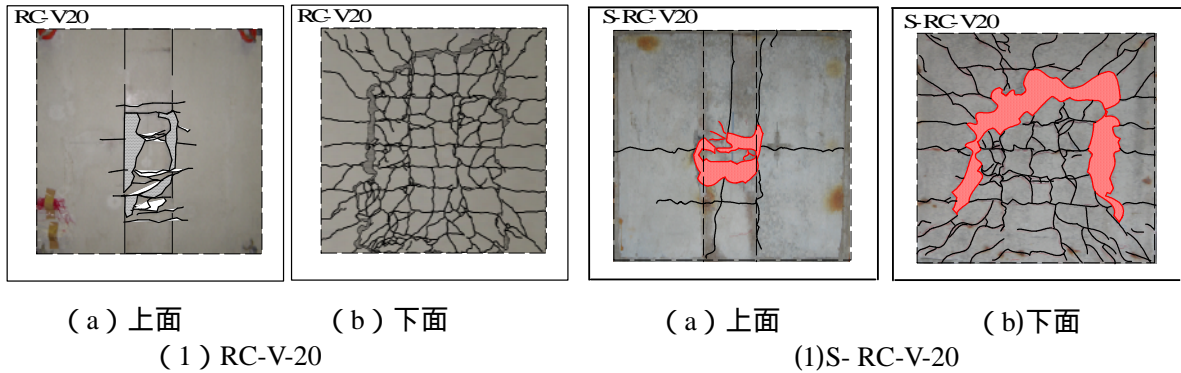


図 - 5 破壊状況

た、最大荷重時のたわみは供試体 RC-V30-1 で 14.8mm，供試体 RC-V30-2 で 11.7mm である。これに対して、塩害作用を与えた供試体 S-RC-V30 は応力履歴時の残留たわみが 0.95mm であり、最大荷重のたわみは 12.6mm となった。

以上より、通常的环境下におかれた RC 床版供試体に比して、塩害作用を受けた RC 床版の方がたわみの増加は大きくなっている。

4.2 破壊状況

RC 床版および塩害を受けた RC 床版供試体の破壊状況の一例を図 - 5 に示す。走行振動荷重 $\pm 20\%$ の場合の RC 床版供試体の上面には、軸方向にひび割れが発生している。また、供試体下面には、荷重が走行したために軸直角方向に 10cm 間隔、軸方向に 10cm~12cm ひび割れが発生し、格子状を形成している。このひび割れ間隔は、供試体に配置した主鉄筋および配力鉄筋の配置間隔と同じである。次に、塩害を受けた RC 床版供試体の場合は、上面に軸直角方向および軸方向にひび割れが発生している。また、供試体下面には、通常の RC 床版同様、ひび割れ間隔は軸直角方向・軸方向に配置した鉄筋間隔とほぼ同じ寸法で発生し、格子状を形成している。なお、全ての供試体において引張鉄筋のかぶり内側はダウエルの影響によりはく離しており、破壊形態は輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊となった。

5. まとめ

- (1) 凍結防止剤を 1 年 10 ヶ月間散布して、塩害を受けた RC 床版の面分析より得られた塩化物イオン濃度からすると、コンクリート表面から浸透深さは約 30mm まで影響を及ぼしており、発錆限界濃度を上回っている。
- (2) 塩害を受けた RC 床版と通常の RC 床版の耐荷力を比較すると、塩害を受けることにより耐荷力が最大 12% 程度低する結果となった。
- (3) 荷重とたわみの関係から、通常の RC 床版に比して塩害を受け RC 床版の方がたわみの増加は大きくなっている。
- (4) 供試体上面には、軸直角方向および軸方向に貫通ひび割れが発生している。供試体下面には、軸直角方向および軸方向に鉄筋間隔と同じ間隔でひび割れが発生し、格子状を形成している。破壊形態は、全ての供試体で輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊となった。

参考文献

- 1) 長谷川寿夫、藤原忠司：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 塩害、p 96-102
- 2) 日本道路協会：道路供示方書・同解説、(2002)。
- 3) コンクリート標準示方書（施工編）p24-27

