

# 凍害を受けたRC床版の耐荷力に関する実験研究

日本大学[院] 鈴木浩行 日大生産工 阿部 忠 日大生産工 木田哲量  
太平洋コンサルタント 田中敏嗣 日大生産工 加藤清志

## 1. はじめに

鋼道路橋鉄筋コンクリート（RC）床版は、大型自動車の繰り返し走行による疲労損傷を受けると同時に、沿岸地域では飛来塩分を受け劣化が進行している。また、寒冷積雪地域では、冬期に凍結防止剤の散布による塩害劣化が進行し、橋梁の維持管理上重要な問題となっている。とくに、RC床版のひび割れ発生後は、そのひび割れに凍結防止剤（塩化ナトリウム）散布による塩水が浸透して凍結することから、塩害と凍害が同時に発生している。そこで本研究では、RC床版の凍結防止剤の散布による塩害と凍結融解作用<sup>1)</sup>による劣化現象に着目し、これらの作用を受けたRC床版の耐荷力の低下率を明確にするとともに、変形状態および破壊メカニズムを検証した。

## 2. 供試体概要

### 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 SD345A, 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、道路示方書・同解説<sup>2)</sup>の規定に基づいて、大型車両の1日1方向あたり計画交通量を 500 台未満を想定して、寸法決定と鉄筋配置し、その 1/2 モデルとした。供試体寸法は、全長を 147cm、支間 120cm とし、床版

表-1 材料特性値

供試体	コンクリート圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋 (SD345A, D10)		
		降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
V20, 30	30.0	370	511	200

表-2 凍結防止剤の成分

CaCl <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	水不溶解成分 (%)	PH (20°C)
72.0以上	0.005 以下	0.04 以下	9 ~ 10

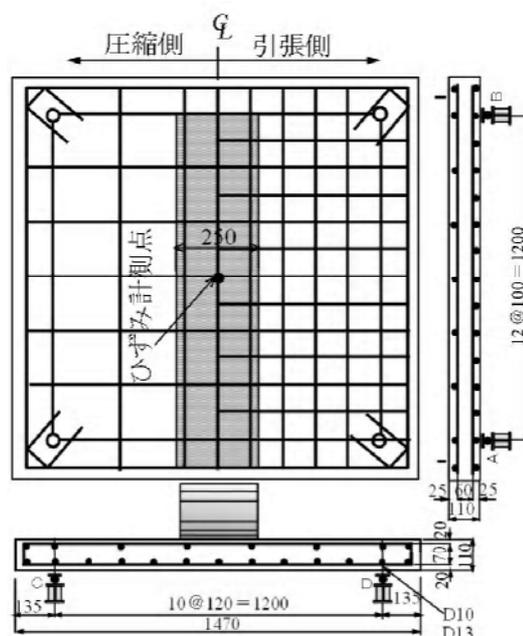


図-1 供試体寸法および鉄筋配置

厚は 11cm、鉄筋は複鉄筋配置とした。引張側の鉄筋 D10 を軸方向に 120cm 間隔、軸直角方向に 10cm 間隔で配置し、有効高さはそれぞれ 8cm, 9cm とする。また、圧縮側の鉄筋量は引張側の鉄筋量の 1/2 配置した。供試体寸法および鉄筋配置を図-1 に示す。

Experimental study on load-carrying capacity of RC slab act on frost damage

by Hiroyuki SUZUKI

Tadashi ABE, Tetsukazu KIDA, Satoshi TANAKA and Kiyoshi KATO



図-2 凍結融解

### 3. 実験方法

#### 3.1 走行振動荷重による応力履歴 RC 床版

本実験では、実橋 RC 床版に作用する大型自動車の変動荷重を想定した走行振動荷重実験を行い、応力履歴を与える。走行振動荷重実験は、左支点 A に輪荷重を載荷し、支点 A から支点 B を 1 往復するものである。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 の片振り荷重とする。なお、走行速度は 1 往復 2.4mm を 13.0sec で走行する 0.18m/sec とした。荷重の大きさは 1 走行ごとに 5.0 kN ずつ増加する段階状荷重とし、応力履歴は荷重 60kN までとする。よって、荷重振幅  $\pm 20\%$  の場合の、最大荷重は 72kN、最小荷重は 48kN であり、荷重振幅  $\pm 30\%$  の場合の、最大荷重が 84kN、最小荷重は 42kN である。供試体名は、荷重振幅  $\pm 20$  の供試体を V20、荷重振幅  $\pm 30$  の供試体を V30 とする。

#### 3.2 凍結融解作用

走行振動荷重実験による応力履歴した RC 床版の上面にエンピ管で 110cm $\times$ 110cm の枠を製作し、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 年間散布した。その後は海水を散布し、氷点下 30 $^{\circ}$  の冷凍庫で夜間 18 時間凍結させ、凍結後は融解して海水の散布を行う。この作業を 300 回行った。凍結および融解を行った RC 床版供試体を図-2 に示す。

塩害・凍害を受けた RC 床版は、コンクリートの表面が約 5 ~ 7mm 程度土砂化している。また、塩害・凍害を受けたことにより応力履歴させた際には確認出来なかった貫通ひび割れ

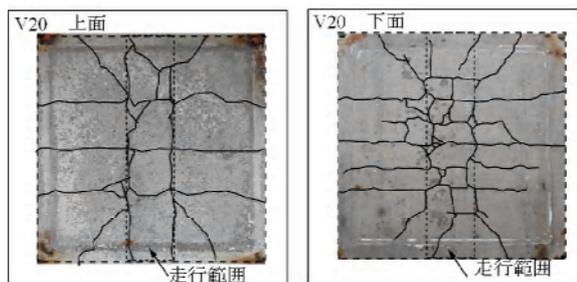


図-3 凍害を受けた RC 床版の応力履歴

表-3 EPMA 測定条件

加圧電圧 (kV)	試料電流 (A)	プローブ径 ( $\mu$ m)	分光結晶	計数時間 (msec)	ピクセルサイズ ( $\mu$ m)	標準試料
15	$1 \times 10^{-7}$	100	Cl、Si、S (PET)、Ca (TAP)	50	200	Cl (Halite, Cl=60.66%)、Si (Wollastonite, SiO <sub>2</sub> =51.73% CaO=48.27%)、S (Anhydrite, SO <sub>2</sub> =58.81%)

が目視で確認された。塩害・凍害を受けた RC 床版供試体の一例を図-3 に示す。

#### 3.3 走行振動荷重による耐荷力実験

本供試体は塩害と凍害を受けたことで、走行面が 5 ~ 7mm 程度土砂化していることから、走行面をプライマーで表面処理をし、走行振動実験を行った。実験方法は、応力履歴を与えた時の実験方法と同様である。なお、荷重は一往復走行ごとに 0kN から 5kN ずつ供試体が破壊に至るまで増加させる段階荷重とした。また、本実験における最大耐荷力とは、一往復走行を維持した最大荷重とする。

#### 3.4 EPMA による分析方法

塩化物イオンの分析には、EPMA を用いた。まず、コア試験体を縦半分に切断し、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、硫黄 S について、表-3 に示す条件下で個々のピクセル毎に定量し、それらを集積した。本供試体の EPMA 解析による分析結果を図-4、分析より得られ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-5 に示す。なお、図-5 に記載している発錆限界濃度とは、鉄筋が錆び始める限

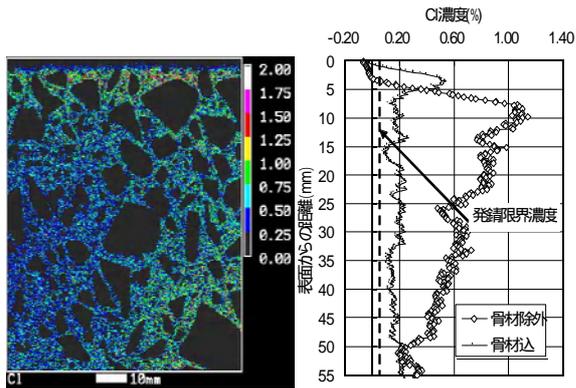


図-4 EPMA による 図-5 Cl 濃度と浸透深さ  
分析結果

界値であり、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。本実験における発錆限界濃度は、コンクリート標準示方書<sup>3)</sup>に示されている  $1.2\text{kg/m}^3$  とする。

図-4, 5 より、凍結防止剤である塩化ナトリウムを 1 年間散布し、その後凍結と融解を 300 回繰返した結果、塩化物イオンは供試体表面から 55mm の位置まで浸透した。また、供試体表面から 55mm の位置まで塩化物イオン濃度が発錆限界濃度を超えていることから、供試体表面から 20mm の位置に配置している圧縮鉄筋は、塩害および凍害の影響を受けていると考えられる。

#### 4. 実験結果および考察

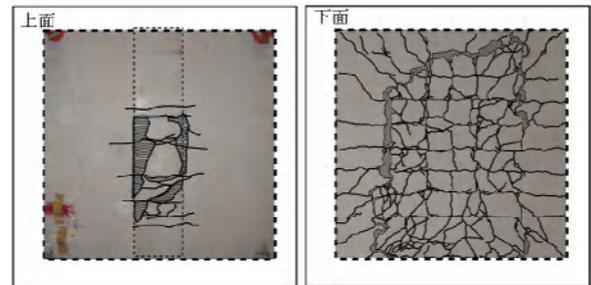
##### 4.1 押抜きせん断耐荷力

本実験における最大耐荷力および破壊モードを表-4 に示す。

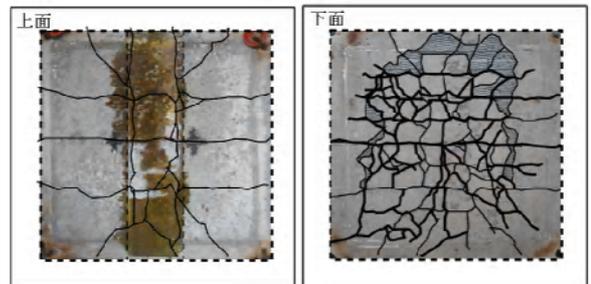
表-4 より、荷重振幅  $\pm 20\%$  の場合、健全な RC 床版供試体 RC-V20-1, 2 の最大耐荷力の平均は 141.6kN、塩害・凍害を受けた RC 版供試体 S・F-RC-V20 は 120.2kN であることから、耐荷力比が 0.85 となり、塩害・凍害を受けた RC 床版供試体は 15 % 耐荷力が低下した。また、荷重振幅  $\pm 30\%$  の場合は、健全な RC 床版供試体 S・F-RC-V30-1, 2 の平均耐荷力は 140.5kN、塩害・凍害を受けた RC 床版供試体

表-4 最大耐荷力および破壊モード

供試体	実験最大耐荷力 (kN)	平均耐荷力 (kN)	耐荷力比	破壊モード
RC-V20-1	137.9	141.6	-	押抜きせん断破壊
RC-V20-2	145.3			押抜きせん断破壊
S・F-RC-V20	120.2	120.2	0.85	押抜きせん断破壊
RC-V30-1	143.8	140.5	-	押抜きせん断破壊
RC-V30-2	137.1			押抜きせん断破壊
S・F-RC-V30	123.5	123.5	0.88	押抜きせん断破壊



(1) RC-V20



(2) F-RC-V20

図-6 破壊状況

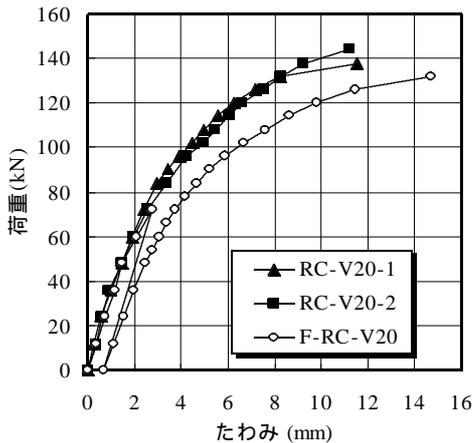
S・F-RC-V30 は 123.5kN であることから、耐荷力比は 0.88 となり、塩害・凍害を受けた RC 床版供試体は 12 % 耐荷力が低下している。

以上より、塩害と凍害を受けた RC 床版は約 15 % 程度耐荷力が低下する結果となった。

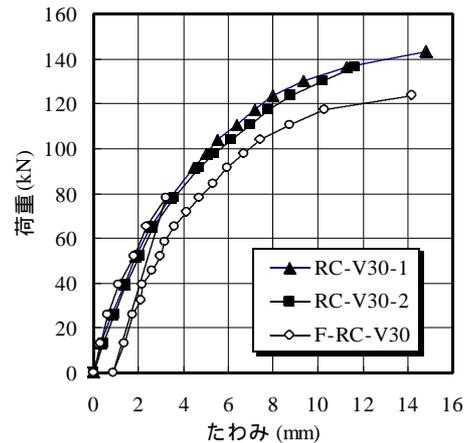
##### 4.2 破壊状況

健全な RC 床版供試体および塩害・凍害を受けた RC 床版供試体の破壊状況の一例を図-6 に示す。

健全な RC 床版の下面は、RC-V20, V30 とともに軸直角方向に 10cm 間隔、軸方向に 10cm ~ 12cm 間隔でひび割れが発生し、格子状を形成している。このひび割れ間隔は、軸直角方向および軸方向に配置した鉄筋間隔とほぼ同じ寸法である。また、最終的な破壊形状は押抜きせん断破壊である。次に、塩害・凍害を与えた RC 床版供試体の場合、S・F-RC-V20,



(1) 荷重振幅 ± 20



(2) 荷重振幅 ± 30

図-7 荷重とたわみの関係

V30 とともに健全な RC 床版供試体と同様、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。最終的に押抜きせん断破壊に至った。また、塩害・凍害を与えた RC 床版供試体においては、健全な RC 床版に比してコンクリート部のはく離が著しい。

#### 4.3 荷重とたわみの関係

本実験における供試体中央の荷重とたわみの関係を図-7 に示す。

走行振動荷重 ± 20 の荷重とたわみの関係は図-7 より、健全な供試体 RC-V20, V30 とともに荷重 80kN 付近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大きくなる。また、終局時のたわみは供試体 RC-V20 が 11.5mm 程度、供試体 RC-V30 が 14mm 程度である。これに対して塩害・凍害を受けた RC 床版供試体は、荷重 60kN 付近までは線形的に増加し、その後の荷重の増加でたわみの増加は大きくなっている。終局時のたわみは供試体 S・F-RC-V20 が 14.7mm、供試体 S・F-RC-V30 が 14.2mm である。また、健全な RC 床版供試体と塩害・凍害を受けた床版供試体のたわみを比較すると、健全な RC 床版供試体に比して、塩害・凍害を受けた RC 床版供試体の方がたわみの増加量が大きい結果となった。

なお、塩害・凍害を受けた RC 床版供試体は、応力履歴を与えた際に生じた残留たわみを初期値とした。

#### 5 まとめ

EPMA 解析より、塩害・凍害を与えた RC 床版の塩化物イオンは供試体表面から 55mm の位置まで浸透しており、発生限界濃度を超過している。

押抜きせん断耐荷力は、塩害・凍害によって最大で 15%程度耐荷力が低下する。これは、凍結融解によるひび割れの拡大および断面欠損によるものと考えられる。破壊状況は、全ての供試体で押抜きせん断破壊となった。また、健全な RC 床版供試体に比して塩害・凍害を受けた RC 床版供試体は、コンクリート部のはく離が著しい。

荷重とたわみの関係においては、健全な RC 床版供試体に比して塩害・凍害を受けた RC 床版供試体の方がたわみの増加量大きい。

#### 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 凍害
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書(施工編)