

RC床版の劣化度診断技術の現状

(株)太平洋コンサルタント 内田 晃一、○大塚 裕太
日大生産工 阿部 忠、木田 哲量

1 まえがき

高度経済成長期に建設され高年齢化したコンクリート構造物の老朽化が、近年、問題となっている。特に道路橋RC床版の劣化は、交通荷重による疲労劣化や、融雪剤や飛来塩分による塩害、寒冷地での凍害、さらにはアルカリシリカ反応など、いくつかの因子が複合している可能性もある。それ故、劣化機構が複雑化し、劣化メカニズムの解明を困難にしている要因と考えられる。劣化構造物に対して適切な診断を行うことは、その後の対応を図る上で非常に重要である。特に、対策後の延命には、劣化機構に応じた対策をすることが肝要であることから、より詳細な調査手法の開発が切望されている。

本報告では、RC床版の一般的な劣化度診断技術を前段で取りまとめ、後段では供用から40年以上が経過した千葉県銚子大橋のコンクリート床版について実施した新たな調査手法につき報告する。

2 一般的なRC床版の調査手法

2.1 調査一般

RC床版の疲労による変状としては、床版下面の格子状ひび割れの発生が特徴的であり、これを調査するためには、目視による外観観察が主体である。さらに、詳細に調査する場合の調査手法の一例を表-1に示す。

2.2 日常点検／定期点検

日常点検では、床版の状態変化を日常的に把握し、劣化の進行を早期に発見する必要がある。従って、床版下面から、ひび割れや漏水、遊離石灰の発生状況を観察することが中心となる。一方、性能低下やその兆候の把握に加え、走行安全性の確認やコンクリート片の剥離などの使用性と第三者影響度の評価を行うことも重要である。

さらに定期点検は、日常点検と同様の調査手法による点検が主であるが、ひび割れ密度・幅の計測、ひび割れの開閉やずれなどの挙動の確認など、より床版に接近して行われる。

2.3 詳細調査

日常点検や定期点検では精度の良い評価および判定が難しい場合や、劣化の進行が著しい部位の調査が必要となる場合は詳細調査が行われる。詳細調査の項目と方法を表-2に示す。

2.4 塩害床版の調査

日常点検ないしは定期点検での床版下面観察において、錆汁が確認された場合は、鋼材腐食の可能性もある。鋼材の腐食は、コンクリートの中性化や塩害によって生じ、腐食生成物の体積膨張がコンクリートにひび割れや剥離を引き起こしたり、鋼材の断面減少などを伴うことに

表-1 床版の調査手法¹⁾

調査項目		調査方法
外観の変状	ひび割れ状態（方向性、密度、幅、角欠けの有無） 漏水、遊離石灰、コンクリートの色合い	目視、簡単な計測、写真撮影
	不良音	打音
路面の状態	亀裂、陥没の有無	目視、写真撮影
ひび割れの挙動	深さ、開閉量、段差量	コンタクトゲージなど
設計断面諸量	コンクリート強度	テストハンマ、コア試験
	配筋	電磁波計測、超音波法等
	床版厚	超音波法等
耐荷性能	たわみ量	載荷試験
交通特性	交通量、大型車混入率、車線分担率、車種区分、軸重	交通量調査、荷重計測

Deterioration Level Diagnosis Technology in Current State of RC Slab

Koichi UCHIDA, Yuta OTSUKA, Tadashi ABE and Tetsukazu KIDA

表-2 床版の詳細調査項目

調査項目		調査方法
変位に関するもの	たわみ	載荷試験
	ひびわれの挙動	載荷試験
	ひび割れ深さ	超音波伝播速度計測、コア採取
材料に関するもの	コンクリート強度	テストハンマ、コア強度試験
	コンクリートの品質	採取コアによる室内試験
	コンクリート断面	コア採取など
	配筋の状態	電磁波調査、超音波法、はつり調査
交通特性に関するもの	荷重実態	交通量調査、車両重量の計測など

より、構造物の性能が低下する。塩害の原因となる塩化物イオンは、海からの飛来や凍結防止剤などにより供給される。以下に塩害が考えられる場合の調査手法を示す。

2.4.1 塩化物イオン濃度測定

コンクリート中の塩化物イオン濃度については、構造物から採取したコアあるいはドリル粉末を用いて測定される。コアについては、深さ方向にコアをスライスしたあと粉碎したものを試料とし、例えばJSCE-G 573「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法」等により濃度分布を測定する方法や、コア断面を用いて『EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析法(案)』（JSCE-G574-2005）により測定する方法などがある。

それぞれの測定法の特徴を表-3に示す。塩化物イオンの拡散係数を高精度で推定する場合には、EPMA法が有効である。さらに、EPMAによる測定例を図-1に示すが、コンクリート断面の塩化物イオン濃度の分布状況が連続的に測定可能であり、結果もビジュアル化され分かり易い。

表-3 塩化物イオン測定法の特徴

測定法	分解能	骨材の影響	推定精度
スライス法	5～10mm	小	低～高
ドリル法	0.5～1mm	大	中
EPMA法	50～100 μ m	無～小	高

2.4.2 鋼材の腐食調査

かぶりコンクリートをはつり、腐食の有無、位置、面積、重量、孔食深さなどを測定される。定量的データを得ることで、構造物の性能低下を定量的に評価することができる。

2.4.3 塩害劣化予測

塩害により構造物の性能低下を予測するためには、塩害による劣化を定量的に予測する必要がある。

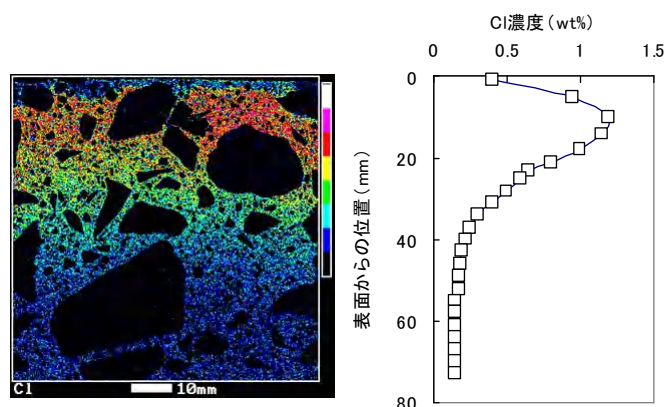


図-1 EPMAによる塩化物イオン濃度測定例

る。そのためには、現状の塩化物イオンの濃度分布に加え、塩化物イオンの拡散の予測を行い、鋼材腐食の開始時期を判定する。

3 銚子大橋調査結果

銚子大橋のコンクリート床版について、表層から深さ方向の劣化度分布を把握する目的で種々の調査をおこなった。

3.1 試験方法

試験は、コンクリート床版より採取したコアを用いて行った。コアの外観を写真-1に示す。コア長は約230mm、上面側（走行面側）70mmは、鋼繊維コンクリートで増厚されていた。増厚部と既存コンクリート部との付着力は弱く、コア採取時の振動で容易に剥離するケースが多く見られた。劣化要因として、構造物の置かれた環境から、①塩害、②中性化、および③繰返し輪荷重の疲労による内部組織の変化、に着目した。これらを評価するために、①EPMAによる塩素 (Cl) マッピング、②フェノールフタインによる呈色反応およびEPMA、③超音波伝播速度、圧縮強度・静弾性係数、空隙径分布、EPMAによる組成像解析、により評価を試みた。表-4に試験項目を、図-2、図-3に試験の手順をそれぞれ示す。

表-4 調査項目

測定項目	超音波伝播速度 (水平方向)	圧縮強度 静弾性係数 超音波伝播速度 (鉛直方向)	空隙径分布	E P M A
試料サイズ	50mm間隔	$\phi 25 \times 50\text{mm}$	20mm間隔	全断面(約230mm)
コアNo. 1	4点	-	11試料	Cl, Ca, C, Si, S,
コアNo. 2	4点	4試料	-	組成像

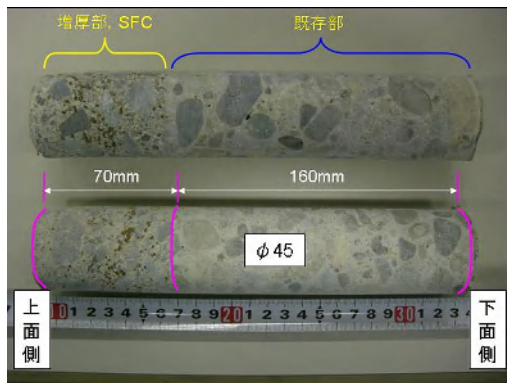


写真-1 コア外観写真

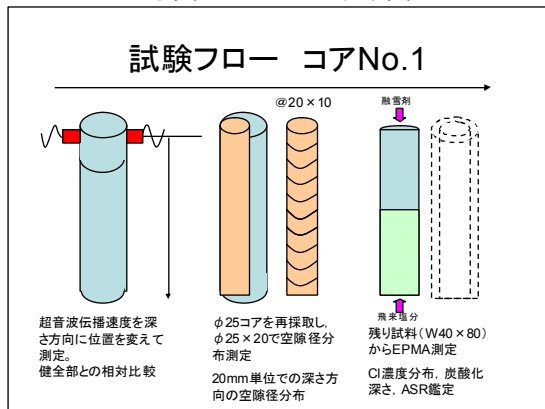


図-2 コアNo. 1の試験フロー

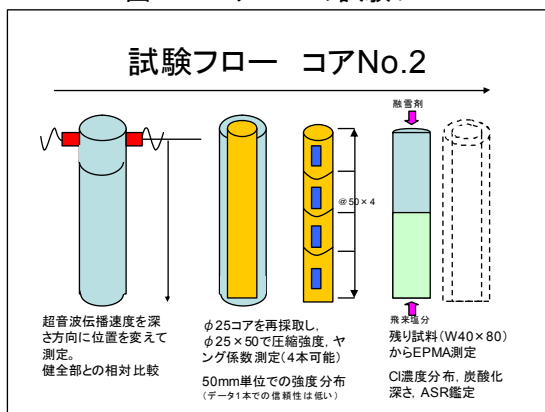


図-3 コアNo. 2の試験フロー

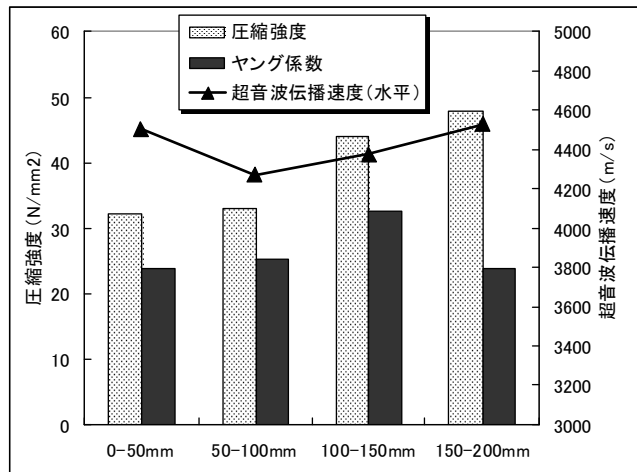


図-4 コアNo. 2の結果

弾性係数の結果を合わせて図-4に示す。圧縮強度は、小径コアn=1のデータであるが、表層～100mmでは32N/mm²、100～200mmでは44～48N/mm²であった。増厚部(0～約70mm)より既存部の方が残存圧縮強度は大きく、設計基準強度

(21-24N/mm²程度)を十分保持する結果を示した。超音波伝播速度と圧縮強度との関係は、概ね比例関係の傾向が認められた。

(2) 細孔径分布

図-5にコアNo. 1の表層から深さ方向の細孔径分布を示す。特徴的なのは、0-60mmの増厚部は、80-220mmの既存部と比較して、0.003～0.008μmの空隙(ゲル空隙)が少なく、0.1～30μmの空隙が多い。異なるコンクリートの細孔組織構造に顕著に差異が生じることを示している。60-80mmはちょうど両者の中間値を示していた。また、圧縮強度と相関が高いとされる0.05～2μmの毛細管空隙量は、増厚では表層側ほど、既存部では下縁側ほど占有率が高く、繰り返し輪荷重による強度の低下が示唆された。

(3) 塩分含有状況

図-6にコアNo. 1のEPMAマッピングおよびコンクリート単位容積あたりに換算した塩化物イオン濃度分布を示す。コンクリート中の鉄筋の発錆限界を1.2kg/m³とすると、下縁側から50mm程度は

3.2 試験結果

(1) 超音波伝播速度と圧縮強度

コアNo. 2の表層から深さ方向への超音波伝播速度と、小径(φ25×50mm)コアの圧縮強度・静

ほぼ発錆限界を超えていることが推察された。中性化はほとんど進行していないことを確認した。

上面側表面から深さ1～2mmの領域では、Cl濃度、SO₃濃度ともに低く、炭酸化領域と思われる。炭酸化領域では、ペースト部のCaO濃度およびSiO₂濃度もやや低くなっているうえ、境界付近でSO₃の濃縮が見られる。

下面側表面から深さ10mmの領域では、Cl濃度、SO₃濃度ともに低く、炭酸化領域と思われる。上面側と同様に、炭酸化領域では、ペースト部のCaO濃度およびSiO₂濃度の低下や、境界部でのSO₃の濃縮が見られる。

4. あとがき

RC床版の調査として、深さ方向の劣化分布を把握することを目的に各種調査を実施した。結果以下のことが得られた。

- (1) 深さ方向の圧縮強度の分布は、小径コアを用いることで5cm毎の分布が見られ、さらに超音波伝播速度と圧縮強度とは相関があり、さらに細かい強度分布測定の可能性が示唆された。
- (2) 細孔径分布は、毛細管空隙量が下縁部で多く見られ、繰返し輪荷重の影響と示唆された。
- (3) 塩化物イオン濃度分布では、EPMAにより連続的に測定することで、鋼材腐食限界値を超えていることと同時に中性化の進行が観察できた。

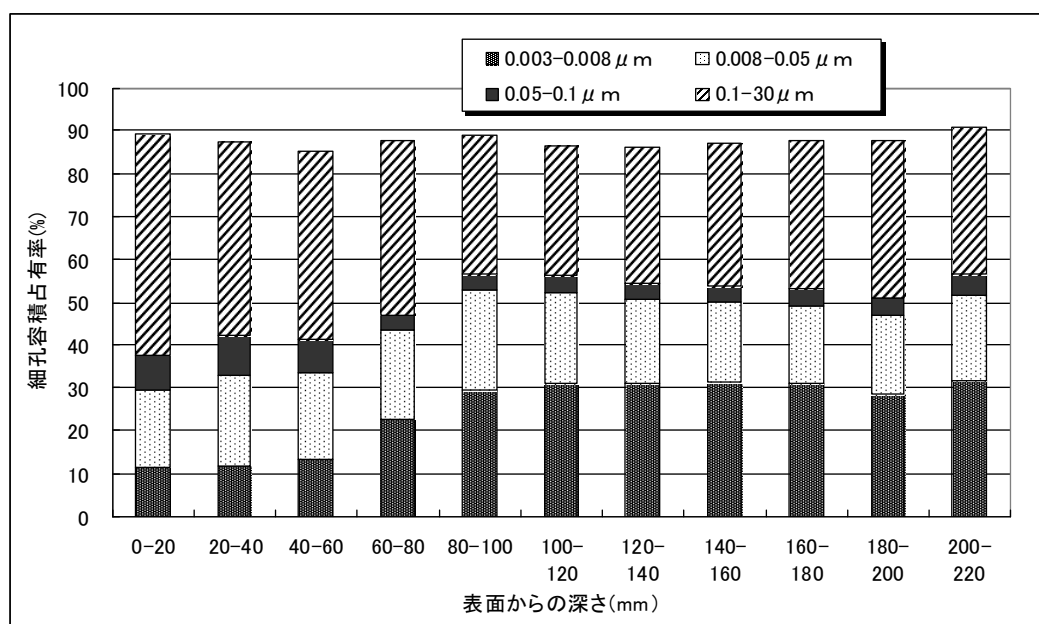


図-5 細孔径分布測定結果

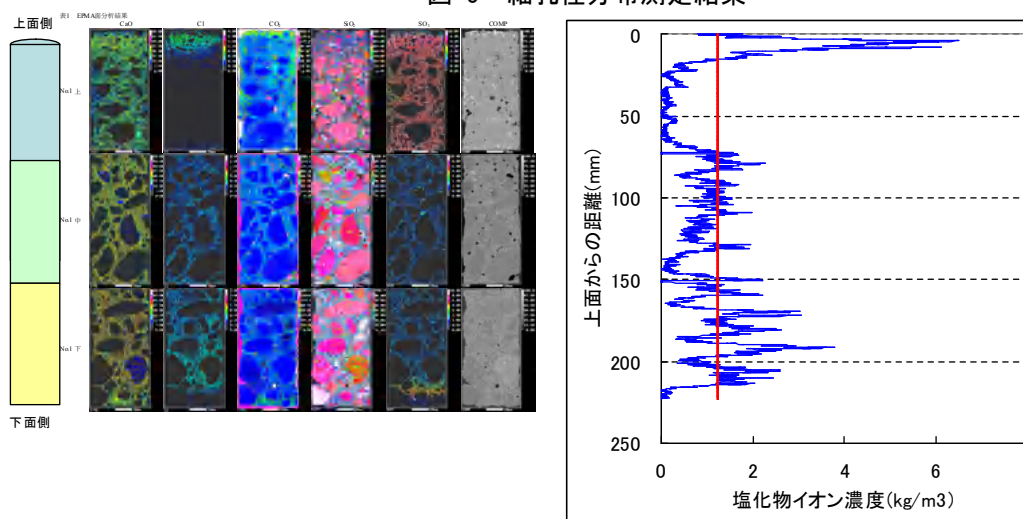


図-6 EPMA測定結果と深さ方向の塩化物イオン濃度分布

「参考文献」

- 1) 土木学会編 コンクリート標準示方書[維持管理編]
- 2) 日本コンクリート工学協会編 コンクリート診断技術`09