中日本ハイウェイ・エンジニアリンク、東京㈱ 〇高野 真希子, 生産工 阿部 忠

18

4.5

## 1. はじめに

長期間供用された道路橋 RC 床版は,疲労損傷 に加え,建設環境条件による劣化が進行し,供用 開始時のコンクリート圧縮強度が低下している可 能性がある.また、撤去床版の観察から、橋梁の コンクリート床版内部の鉄筋位置付近に水平ひび 割れが生じていることが確認されている. その発 生と擦り磨きにより拡大がもたらすコンクリート のせん断応力の伝達性能の低下は、床版の曲げ剛 性を大幅に低下させる問題があり,床版内部の状 態を把握する必要が高まっている. そこで筆者ら は、床版内部の連続したコンクリートの強度を診 断する小口径コア型コンクリート強度診断試験機 1)(以下,試験機とする)を開発した.さらにこの 試験機を応用したコンクリート内部を診断する「コ ンクリート構造部材の柱状サンプル採取方法」<sup>2)</sup>を 提案している. そこで本研究は、本試験機を用い て、コンクリートの表面から深さ方向のコンクリ ートの圧縮強度の推定および撤去した実橋 RC 床 版を用いて水平ひび割れの発生状況に関する診断 技術につて検証する.

#### 2. 小口径コア型コンクリート強度診断試験<sup>1)</sup>

コンクリートの表面から深さ方向に切削する際 の切削エネルギーを得て、コンクリートの圧縮強 度を評価する方法である. 小口径コア型コンクリ ート強度診断試験装置を図ー1に示す.

#### 2.1 切削エネルギーの算定式および強度推定

本試験機がコンクリートを 1.0mm 切削するため の鉛直切削エネルギーの累積(Σ E<sub>F</sub>)および回転切 削エネルギーの累積(Σ Em)を算定し、これらの合 計切削エネルギー(Σ E)によってコンクリートの 圧縮強度を推定するものである. 合計切削エネル ギー( $\Sigma E$ )は式(1)として与えられる.

 $\Sigma E = \Sigma (E_F + E_M) = \Sigma \{ (F_z \times \Delta L) + (M_z \times \Delta \theta) \}$ (1) ここに、 $\Sigma$  E:合計切削エネルギー(J), E<sub>F</sub>:鉛 直切削エネルギー(J), Em:回転切削エネルギー(J), Fz: 作用荷重(N), Δ L: 切削深さ方向の変位 (=  $\Delta$  L<sub>n+1</sub>- $\Delta$  L<sub>n</sub>,  $\Delta$  L<sub>n+1</sub>: n+1 回目の深さ(mm),  $\Delta$  L<sub>n</sub> :n回目の深さ(mm), Mz:切削トルク (=A × 0.9511, A:電流) (Nm), Δ θ:計測間隔におけ る回転角度(=回転数×2 π/60)(red/s)



図-2ビット 図-1 試験機一式 表-1 コンクリートの配合条件 スランプ Air W/Cs/a 単位重量 (kg/m<sup>3</sup>) (cm) (%) (%) (%) С W S G AD 58.5 48.3 313 3.13

186

840 940

#### 2.2 コンクリートの使用材料および実験方法

(1) 使用材料 本試験機を用いて圧縮強度を評価 するコンクリート試験体の材料には、普通セメン トに 5mm 以下の砕砂, 最大寸法 10mm の骨材を 用いる. コンクリートの要求性能は圧縮強度 24N/mm<sup>2</sup>程度確保できる配合条件(表-1)とす る. コンクリート試験体の寸法は幅 1,200×1,200 mm, 厚さ200mm とする.

供試体上面に本試験機を設置す (2)実験方法 る. コアを切削するビットの寸法は内径 φ25mm 厚さ 3.0mm, 高さ 300mm とする(図-2). また, エアーコンプレッサーによる押力は 0.8MPa(荷重 200N 程度) で作用させる. 200mm の切削に要す る時間の最大を 5min, 収録データ数を 3000 デー タと設定する.なお、モータの回転数は1500回/min とした.

この実験条件により、切削時間(sec)、作用荷重 (N), 表面からの切削深さ(mm), 電流値(A)のデー タを動的に計測し、合計切削エネルギー $\Sigma$  E を式 (1)より評価する.

#### 2.3 結果および考察

(1)作用荷重・時間・電流 コンクリート表面か ら深さ 200mm までの深さと作用荷重 F=(N)の関係 を図-3に示す.荷重は 225N ~ 238N の範囲で作 用しており,安定した制御がなされていることが 確認できる. また, 深さ 200mm まで切削する

Try of a new technology about internal investigation of RC slabs by Makiko TAKANO and Tadashi ABE



図-6 合計エネルギーと距離 図-7 圧縮強度と合計エネルギー 図-8圧縮強度と合計エネルギー

表-2 コアの圧縮試験による圧縮強度							
呼び強度		直径(D)	高さH	H/D	補正係数	最大荷重	圧縮強度
24 N/mm <sup>2</sup>		(mm)	(mm)			(kN):P	$(N/mm^2)$
1体目	1	24.43	47.45	1.94	0.995	11.22	23.84
	2	24.48	48.23	1.97	0.997	11.02	23.36
	3	24.50	48.85	1.99	0.999	11.60	24.59
	4	24.60	48.60	1.97	0.997	11.80	24.76
	平均						24.14
2体目	1	24.45	46.10	1.88	0.990	11.32	23.88
	2	24.48	46.18	1.88	0.990	10.99	23.14
	3	24.60	47.63	1.93	0.994	11.50	24.06
	4	24.58	47.05	1.91	0.992	11.61	24.29
	平均						23.84

際の所要時間(sec)は 150.2sec であり,図-4に 示すとおりほぼ線形的に増加している.次に, 電流値(A)と表面からの距離(mm)の関係を図-5 に示す.初期電流値は 1.55A と高いが,これは コンクリート表面にコア・ドリルが接触した際 に負荷が大きくなり,電流が高い結果となる. その後徐々に安定し,1.22A ~ 1.1A の範囲での 増減となった.この増減が,回転エネルギーに 大きく影響する.このような深さ方向の各層の データの増減から,各層においてコンクリート の圧縮強度が変化しているものと推定できる.

(2) 合計切削エネルギー *ΣE* 収録した作用荷 重,時間,電流(図-3,4,5)を用いて式(1) より合計切削エネルギー *ΣE*を算定し図-6に示 す.なお,図-6には鉛直切削エネルギーの累 積(*ΣE<sub>t</sub>*)および回転切削エネルギーの累積(*ΣE<sub>t</sub>*) も併記した.図-6より 1mm 切削する際の合計 エネルギーは,1mm から 50mm の平均が 345N, 50~100mm の平均は 340N,100~150mm の 平均は 357N,150~200mm の平均は 360N で ある.

## (3) コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮試験は, 採取したφ 25mm×200mm の小口径コアを 50mm ごとに切 断し、φ 25mm×50mm の円柱供試体を4本製作 した.その後、小径コア専用の万能試験機を用 いて圧縮試験を行った.2本の供試体の圧縮試 験の結果を**表-2**に示す.

## (4) 圧縮強度と合計切削エネルギーの関係

コンクリートの圧縮強度と合計切削エネルギ ーの関係を図-7に示す.合計切削エネルギー *SE* を適用したコンクリートの圧縮強度 *f*。の推定式 を式(2)として与える.

$$f_c = 0.3396 \times \Sigma E^{(0.726)}$$
 (2)

ここに、 $f_c: コンクリートの圧縮強度$ (N/mm<sup>2</sup>)、 $\Sigma E:$ 合計切削エネルギー(J)

# (5) 合計切削エネルギーから算定される圧縮 強度

深さ1.0mm ごとの圧縮強度および1本のコア から50mm ごとに切断した小口径コアの圧縮試 験による圧縮強度および推定式(2)より得られ た圧縮強度をそれぞれ図-8に示す.コンクリ ートの圧縮強度は深さ1.0mm ごとに増減が著し いが50mm ごとに平均した合計エネルギー切削 エネルギーとコンクリート試験による圧縮強度 はかなり近似している.よって,合計切削エネ ルギーは深さ方向の脆弱箇所が推定でき,50mm ごとに合計切削エネルギーを評価して,圧縮強 度を算定することで,実験値との整合正が評価 できる結果となった.

## 3. 調査実施内容および各種試験方法

水平ひび割れが発生している実橋 RC 床版を 試験体とした調査においては,既往の点検方法 に加えて新技術を採用し,補修計画や維持管理 を行うための情報を得ることを目的に,コンク リート内部の変状調査を行った.



図-9 ハンマー打診によるひび割れ範囲

## 3.1 水平ひび割れの目視確認とハンマー打診

(1) 点検概要 目視と打音法は点検の基本で あるが、微細なひび割れの確認においては打撃方 法に工夫が必要である.例えば、0.2mm 未満のひ び割れを目視するためには、アセトン等の揮発性 の高い液体を塗布する.ハンマー打診は、打音の 確認のみでなく、ハンマーの反発状況を確認する ことも重要である.

(2) 調査結果 浅い位置(上側鉄筋位置=深 さ 40 ~ 50mm 程度)の変状でもある程度強い打 撃が必要である.また,浅い位置の水平ひび割れ は,幅 0.5mm 程度以下で「空洞化」に至らないも のは,ハンマー打診による検出が困難である.ハ ンマー打診によるひび割れ範囲を検証した結果を 図-9に示す.

#### 3.2 衝撃弾性波法

衝撃弾性波法は、コンクリート表面に設置した センサーの近傍を打撃し、コンクリート中を伝播 する弾性波の伝播速度および反射時間を測定して、 内部の空洞等の深さを計測する非破壊調査である.

## 3.3 電磁波レーダ法

(1)調査概要 電磁波レーダ法は、電磁波をコ ンクリート表面に向けて放射すると、電磁波がコ ンクリートと電気的性質の異なる物質すなわち、 鉄筋や空洞位置との境界面で反射され、受信され る.この送信から受信に到るまでの時間から、反 射物体までの距離を測定する方法である.主に、 中性化調査や塩分浸透量調査でのコアドリルでの 削孔位置を決定する際に用いている.近年では専 用の大型計測器を使用して、舗装とコンクリート 床版の界面に発生した劣化・空洞等の調査にも採 用されている.

(2) 調査結果 試験体の断面に露出している鉄 筋においても探知不能や水平ひび割れを判読する ことができない場合もある.これら結果から,非 破壊調査により判断することは難しく,他の点検 や調査と複合的に取り扱う必要があることを確 認した.

## 3.4 各種試験による診断

調査実施内容および各種試験方法としてハン



図-11 小口径コアによる床版内部の調査手法

マー打診,衝撃弾性波法および電磁波レーダ法 でのひび割れ確認試験においては適切な水平ひ び割れ発生の確認には至らない結果となった.

#### 4. 柱状サンプル採取方法

## 4.1 小口径コアによる床版内部の調査手法<sup>20</sup>

採取コアにより内部状況を確認する方法は一 般的に行われていているが、コア径により床版 へ不要なダメージを与えることや図-10に示す ような内部損傷状況によりコアの採取が困難な 場合がある.そこで、内部の変状部に蛍光塗料 を混入した浸透性接着剤を注入し、コンクリー ト壁面を強固にすると同時にひび割れ発生位置 に浸透させ、変状位置の形状寸法を保持すると ともに、採取したコア表面の視認性を向上させ る手法を提案する.診断手順を図-11に示す.

はじめに、コアドリル装置を試験体に設置し (図-11①)、φ 10mm のコアを穿孔する(図-11②). 次に、コア内を清掃し(図-11③)、浸 透性接着剤に蛍光塗料を混入し、専用の注入装 置を用いて接着剤を圧入する(図-11④). 次 に、接着剤の強度発現後、同位置をφ 25mm の ドリルにより穿孔し(図-11⑤)、コアを採取 する(図-11⑥).

#### 4.2 小口径コアによる床版内部の調査提案

(1)調査概要 コンクリート内部のひび割 れ状況を調査する新技術である.診断方法は図 -11に示す手順で行った.また,棒状のスキャ ナを用いてコア内面の調査を行った画像との比 較検討も行った.棒状スキャナを 4 25mm の削 孔内部に挿入し,削孔壁面の画像を撮影するも のである.



図-12 孔内面の可視画像と採取コアの表面観察結果の比較

(2) 調査結果 本提案による手法により採取 した柱状サンプルおよび棒状スキャナによる画 像と柱状サンプルの表面観察結果の一例を図-12に示す.

棒状スキャナによるひび割れ診断では,空隙 や骨材とモルタルの付着不良による空隙がみら れる.一方,蛍光剤を混入した浸透性接着剤を 注入した柱状サンプルに,ブラックライト(紫 外線)を照射し,柱状サンプル表面のひび割れ を診断した結果,孔内面スキャナでは判別でき ない微細ひび割れまでを確認することが可能と なった.

(3)施工上の留意点 今回の実験により施工 に関して以下の課題が確認された.

浸透性接着剤を注入するφ 10mm のコアを穿 孔する場合は、打音式のドリルは穿孔時微細な ひび割れの発生が懸念されることから、湿式式 のコアドリルを用いる必要がある.なお、乾式 の場合は穿孔時発生するコンクリート粉体が水 平ひびわれに侵入し、浸透性接着剤の浸透が阻 害されるなどが懸念される.次に、コンクリー ト表面にひび割れが確認された場合は浸透性接 着剤の漏洩を防止するために、シール材で完全 に覆う必要がある.また、φ 10mm の孔に浸透 性接着剤を注入する場合は低圧入によりひび割 れに浸透させる.下方かの注入の場合は、真空 状態となり、接着剤が圧入されないことから空 気孔を設ける必要があると考える.

#### 5. まとめ

(1)「小口径コア型コンクリート強度診断試験装

置」を用いて、切削時間、作用荷重、表面からの 深さ方向の切削距離、電流値を適切に取得できた. また、切削時の鉛直および回転エネルギーの合計 切削エネルギーと採取コアの圧縮強度値より圧縮 強度と合計エネルギーの相間式(式(2))を導くこと ができた.

(2)合計切削エネルギー *ΣE* を提案式(2)に適用 することで切削層ごとのコンクリートの圧縮強 度の評価が可能であることから,劣化したコン クリートの内部強度の診断が可能となった. 今 後のデータの蓄積により提案式の精度向上を図る ことができると考える.

(3) 床版内部の損傷を打音や電磁波レーダ等の 非破壊検査単独で判断することは難しいことが 確認できた.

(4)新技術である「コンクリート構造部材の柱状 サンプル採取方法」によるコンクリート床版の 内部変状確認調査は、床版厚さ全幅の内部変状 の発生位置や寸法を極力見落とすことなく把握 できる有効な調査技術であると考えられる.今 回の実験では、ひび割れ等の視認性向上等,目 標としていた良好な結果が得られた.

## [参考文献]

1) 阿部忠,高野真希子:コンクリート構造部材 の深さ方向性状測定方法及び装置,特許弟 6093951号

2)阿部忠,大窪克己,高野真希子:コンクリート構造部材の柱状サンプル採取方法,特願 2017-130224