

小口径コア型試験機による 47 年間供用した SFRC 上面増厚床版の コンクリートの圧縮強度推定法

日大生産工(院) ○褚楚 日大生産工 阿部忠 日大生産工(院) 野口博之
中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京(株) 高野真希子

1. はじめに

現在供用されている土木構造物の多くは高度成長期に建設され、供用開始から 50 年以上が経過している。道路橋 RC 床版は交通車両の増大および過積載車両の走行によって 2 方向ひび割れなどの疲労損傷が発生している¹⁾。また、橋面防水層を設けていない RC 床版では下面からの貫通ひび割れに雨水が浸透することで車両の繰り返し走行のよすりみがきによりセメント成分の滲出し、コンクリートの強度が低下する。また、積雪寒冷地域では凍結防止剤の塗布による塩害と凍害の複合劣化も発生し、RC 床版の耐久性が著しく低下している。これらの疲労損傷を受けた RC 床版の維持管理および点検手法として衝撃弾性波法や電磁波レーダ法などの非破壊検査²⁾によるコンクリートの強度推定や内部変状の調査が実施されているものの、強度推定および内部変状についての診断法は確立されていないのが現状である。これらのことから阿部ら³⁾は、コンクリートの強度推定法として、コンクリートの表面から内部方向に強度測定および診断する小口径コア型試験機を開発し、コンクリート強度推定法を提案している。

そこで本研究は、RC 床版の圧縮強度推定として小口径コア型試験機を用い、47 年供用し撤去された旧銚子大橋の SFRC 上面増厚補強が施された RC 床版の強度推定を行い、その整合性について検証する。

2. 旧銚子大橋

(1) 旧銚子大橋の概略 旧銚子大橋は 1956 年の「鋼道路橋設計示方書 (日本道路学会)」⁴⁾に規定に基づいて設計された RC 床版であり、

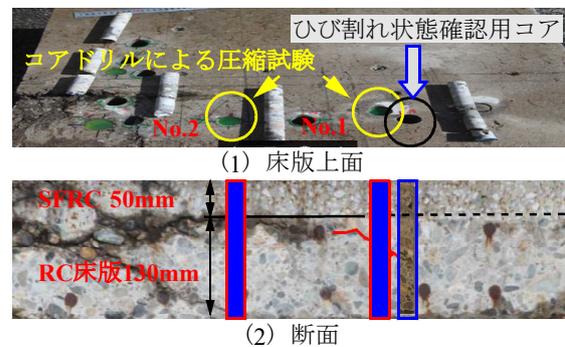


写真-1 撤去されたRC床版

主筋にはφ 16mm、配力筋にはφ 13mm の丸鋼が使用されている。床版厚は 150mm であり、1985 年に 70mm ~ 80mm の SFRC 増厚補強が施されている。なお、本調査においては増厚層を 50mm に上面を切削した供試体を用いる。ここで、旧銚子大橋の RC 床版供試体の損傷状況を写真-1に示す。

(2) 供試体概要⁶⁾ 本実験に用いる供試体は供用開始から 47 年で撤去された SFRC 上面増厚補強を施した RC 床版である。この床版は SFRC 上面増厚補強が施されていることから既設床版の厚さが 130mm、SFRC 層が 50mm となっている。既設床版のコンクリートには普通ポルトランドセメントに最大骨材寸法 5mm 以下の砕砂、最大骨材寸法 20mm の粗骨材が使用されている。床版撤去時にコア採取して圧縮試験を行った結果、RC 床版のコンクリート圧縮強度は平均 38.2N/mm²、SFRC 増厚部のコンクリート圧縮強度は平均 56.4N/mm²であった。

3. コンクリート切削エネルギーの算定式

(1) 小口径コア型試験機 本試験機は、試験体を切削するコアドリル、コアドリルを可動さ

Proposal of Compressive Strength Estimation Method of SFRC Upper Overlaid RC Slab
Used for 47 Years by Small Size Cores Machine

CHU CHU, Tadashi ABE, Hiroyuki NOGUCHI and Makiko TAKANO

せる直流式のモータ，エアコンプレッサーから送り込まれるエアを作用荷重として载荷させるアクチュエータ，作用荷重を計測するロードセルおよび深さ方向の距離を計測する変位計で構成されている。この装置を用いた強度の推定は，ドリルの回転数，作用荷重（Fz），電流値（A）を深さ方向（ΔL）に動的に計測することにより行う。

(2) 合計切削エネルギーの算定 本実験より得られたデータを用いて，鉛直方向の切削エネルギー（E_F）（以下，鉛直切削エネルギーとする）とドリルの回転による切削エネルギー（E_M）（以下，回転切削エネルギーとする）をそれぞれ深さ方向に算定する。また，本装置がコンクリートを 1.0mm 切削するための鉛直切削エネルギーの累積（ΣE_F）（以下，累積鉛直切削エネルギーとする）および回転切削エネルギーの累積（ΣE_M）（以下，累積回転切削エネルギーとする）を算定し，合計切削エネルギー（ΣE）を評価し，コンクリート圧縮強度 f_c を深さ方向に推定するものである。

以上より，本試験機による任意の深さの切削時の合計切削エネルギー（ΣE）は式(1)として与えられる。

$$\Sigma E = \Sigma (E_F + E_M) \quad (1)$$

$$E_F = F_Z \times \Delta L \quad (1.1)$$

$$E_M = M_Z \times \Delta \theta \quad (1.2)$$

ここに，ΣE：合計切削エネルギー（J），E_F：鉛直切削エネルギー，E_M：回転切削エネルギー，F_Z：作用荷重，ΔL：計測間隔における深さ方向の変位（=ΔL_{n+1}-ΔL_n，ΔL_{n+1}：n+1 回目の深さ（mm），ΔL_n：n 回目の深さ（mm）），M_Z：切削トルク（=A×0.9511，A：電流）（Nm），Δθ：計測間隔における回転角度（=回転数×2π/60）（rad/sec）

(3) 圧縮強度と合計切削エネルギーの関係

小口径コア型試験機を用いてコンクリートの圧縮強度を評価するために，骨材寸法 10mm 以下の小径骨材を配合した呼び強度 24N/mm² の供試体 3 体および 30N/mm² の供試体 1 体を用いた。また，骨材寸法 20mm 以下の粗骨材を配合した呼び強度 30N/mm² および 40N/mm² で配

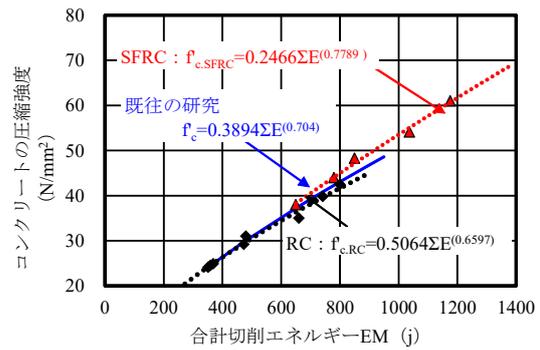


図-1 圧縮強度と合計エネルギーの関係

合した実橋 RC 床版供試体を用いた。さらに鋼繊維を混入した SFRC 床版供試体を用いて合計切削エネルギーを得た。また，圧縮強度についてはコア採取した試験体を用いて圧縮試験を実施し，コンクリートの圧縮強度と合計切削エネルギーの関係として図-1に示す。

コンクリート圧縮強度 f_c は，図-1 に示したコンクリート圧縮強度と合計切削エネルギー ΣE の関係による近似式から得る。この近似式をコンクリート強度推定式と定義し，式(2)，式(3)，式(4)を提案する。

既往の研究（RC，SFRC 材）：

$$f_c = 0.3894 \times \Sigma E^{(0.7040)} \quad (2)$$

RC 材：

$$f_{c,RC} = 0.5064 \times \Sigma E^{(0.6597)} \quad (3)$$

SFRC 材：

$$f_{c,SFRC} = 0.2466 \times \Sigma E^{(0.7789)} \quad (4)$$

ここで，f_c：コンクリートの圧縮強度（N/mm²），ΣE：合計切削エネルギー（J）

4. 実験方法

供試体上面に本試験機を設置する。小口径コアビットの寸法は内径 φ 25mm，厚さ 3.0mm，長さ 300mm である。また，エアコンプレッサーによる作用荷重（Fz）は 0.7MPa で作用させた。なお，深さ 200mm を一定の作用荷重により切削するためには，切削中にエア圧力の増減がないように，エアコンプレッサーのエア圧力を設定する必要がある。深さ方向 200mm の切削に要する最大所要時間を 5 分，収録データ数を 3000 データと設定する。なお，ドリルの回転数は 1500 回/min とした。この実験条件により，切削時間，作用荷重，表面からの切削

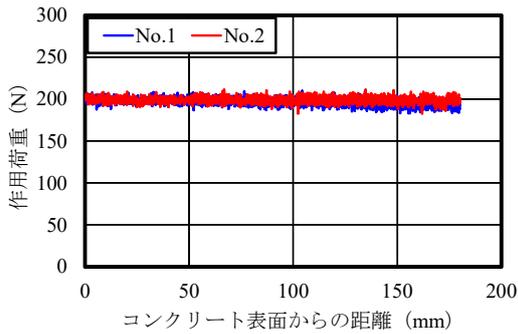


図-2 荷重と深さ方向の関係

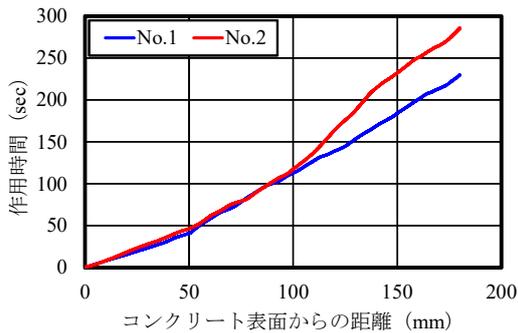


図-3 切削時間と深さ方向の関係

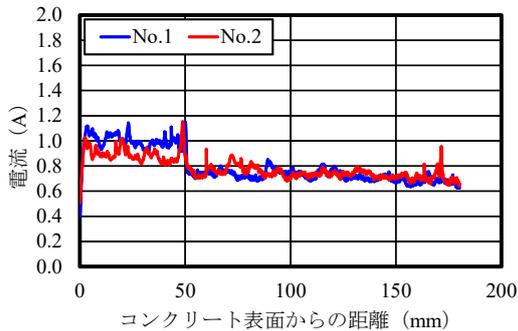


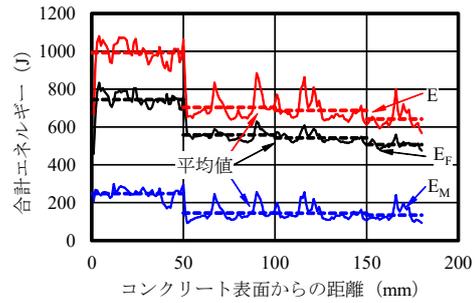
図-4 電流と深さ方向の関係

深さ、電流値のデータを動的に計測し、合計切削エネルギー ΣE を式(1)より算出した。

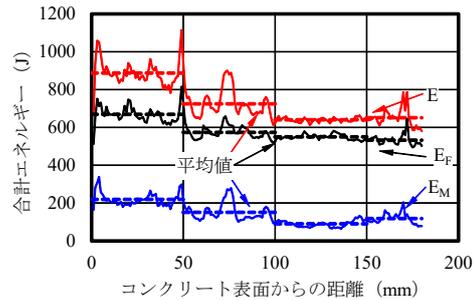
5. 計測結果

(1) 深さ方向の作用荷重 作用荷重とコンクリート表面から深さ方向の関係を図-2に示す。作用荷重が 200N となるようにエアコンプレッサーの圧力を 0.7MPa で作用させる。コンクリート表面から切削完了まで荷重変動があるものの、平均 200N で切削されている。

(2) 切削に要する時間 供試体のコンクリート表面から深さ 180mm まで切削するに要する時間と深さの関係を図-3に示す。増厚層と既



(1) No. 1



(2) No. 2

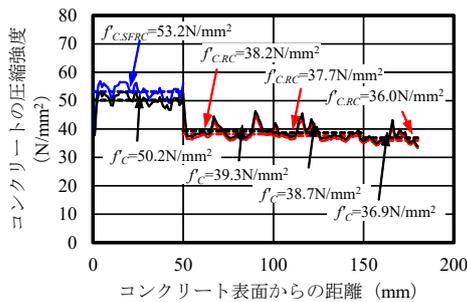
図-5 エネルギーと深さ方向の関係

設 RC 床版層の切削時間がコンクリート強化の違いが反映される結果が得られた。

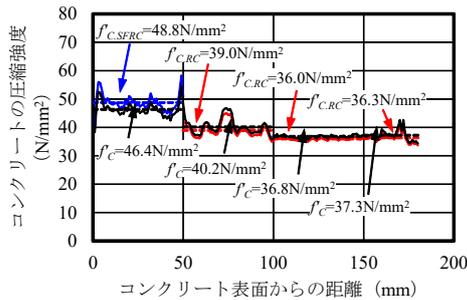
(3) 切削に要する電流 電流とコンクリート表面からの距離の関係を図-4に示す。コア No.1 はコンクリート表面から 50mm の位置までは SFRC 増厚層なので電流が 0.9 ~ 1.1A の範囲で変動している。しかし、切削深さ 50mm を超えた付近で電流の 0.8A に低下している。その後は電流の変動があるものの平均 0.75A で電流が計測されている。次に、コア No.2 も同様に SFRC 増厚層では電流が 0.8 ~ 1.2A の範囲で変動している。切削深さ 50mm ~ 100mm の変動が大きい、0.75A に低下し、電流の変動があるもののほぼ一定の電流が計測されている。

電流の変動が確認された位置は SFRC 層と既設 RC 床版との界面の位置であり、コンクリートの圧縮強度に差異が生じていることが推察される。この計測したデータを基に切削エネルギーおよび SFRC 増厚層および既設 RC 床版のコンクリートの圧縮強度を推定する。

(4) 切削エネルギーの算出およびコンクリートの圧縮強度推定 深さ方向と累積鉛直切削エネルギーおよび、累積回転エネルギー、合計切



(1) No. 1



(2) No. 2

図-6 圧縮強度と深さ方向の関係

削エネルギーの関係を図-5に示す。また、合計切削エネルギー式(1)およびコンクリート圧縮強度推定式(2)より算出されたコンクリート圧縮強度と深さ方向の関係を図-6に示す。

式(1)を用いて合計切削エネルギーを算出するとコア No.1 は 0 ～ 50mm すなわち SFRC 層では平均 993J, 50mm 以降は平均 677J の合計切削エネルギーが得られている。コア No.2 の合計切削エネルギーは SFRC 層で平均 888J, 50mm 以降の既設 RC 床版では平均 672J の合計切削エネルギーが得られている。

式(2)を用いて算出したコンクリートの圧縮強度と合計切削エネルギーの関係から得られたコア No.1 の SFRC 増厚層の推定圧縮強度は 50.2N/mm², 既設 RC 床版層の平均圧縮強度は 38.3N/mm² となった。SFRC 増厚層の圧縮強度はコア採取による圧縮強度 56.4N/mm² の 0.89 倍である。また、既設 RC 床版の圧縮強度 38.2N/mm² の 1.00 倍である。コア No.2 の SFRC 増厚層の推定圧縮強度は 46.4N/mm², 既設 RC 床版層の平均圧縮強度は 38.1N/mm² となった。SFRC 増厚層の圧縮強度はコア採取による圧縮強度 56.4N/mm² の 0.82 倍、既設 RC 床版層の圧

縮強度 38.2N/mm² の 0.99 倍である。

SRC 部材の強度推定式(3)と SFRC の強度推定式(4)を適用した場合、コンクリートの圧縮強度と合計切削エネルギーの関係から得られたコア No.1 および No.2 の SFRC 増厚層の推定圧縮強度はそれぞれ 53.2N/mm², 48.8N/mm² であり、撤去時に圧縮強度と比較して 0.94 倍, 0.87 倍となった。既設 RC 床版層のコア No.1 および No.2 圧縮強度はそれぞれ 37.3N/mm², 37.1N/mm² と撤去時に圧縮強度と比して 0.98 倍, 0.97 倍となった。

以上より、実橋梁のコンクリート圧縮強度と同等の結果が得られたことから小口径コア型試験機を用いたコンクリート圧縮推定は可能である。

6. まとめ

- (1) 小口径コア型試験機は荷重および切削深さ、電流を適切に収録することが可能である。また、SFRC 層および既設 RC 床版層との界面で電流の変動が確認されることからコンクリート強度の変化が反映されていることが確認された。
- (2) 提案する合計切削エネルギー式およびコンクリートの圧縮強度推定式より算出された圧縮強度は実橋梁の撤去時に採取したコアサンプルの強度に近似することから実構造物のコンクリートの圧縮強度を推定することが可能となった。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造シリーズ 27 道路橋床版の維持管理マニュアル 2016, 2016.10
- 2) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術' 14 [基礎編], 2014.2
- 3) 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, 特許第 6093951 号
- 4) 日本道路協会：鋼道路橋示方書, 1956
- 5) 高野真希子ほか：47 年供用した RC 床版の CFSS 下面補強および SFRC 上面増厚補強による耐疲労性, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.1286-1296, 2011.3