

劣化したコンクリートコアの高さごとの弾性特性測定

(国研) 土木研究所 正会員 〇田中 良樹

(国研) 土木研究所 正会員 玉越 隆史

(国研) 土木研究所 正会員 村井 啓太

(国研) 土木研究所 正会員 藤本 圭太郎

1. はじめに

道路橋コンクリート床版上面の土砂化部周辺のコンクリートは、上面から劣化が進行していることが想定され、深さに応じてコンクリートの物性が異なることが想定される。この点から、劣化したコンクリートコアを対象として、その深さごとの静弾性係数を一度に測定する方法を試みた。

2. 測定方法

床版上面の一部が土砂化していたコンクリート床版(版厚 210mm) から $\phi 100\text{mm}$ のコアを採取した。コア E3 は土砂化部の下から採取した。コア E5 は明らかに土砂化した部分から少し離れた位置から採取した。コア E8 は比較的健全な部位から採取した。直径 100mm を確保するため(別途超音波伝播速度を測定するため)、またコア採取のし易さを考慮して、E3, E5, E8 は、いずれも床版下段の鉄筋(D19, E5 は曲上部)をあえて含む位置で採取した。写真-1 にコア E3, E5 の外観を示す。コア E3, E5 を採取した付近で比較的健全な部位のコンクリートの圧縮強度 f_c と静弾性係数 E_c は、 36N/mm^2 , 21000N/mm^2 であった。また、コア E8 の f_c , E_c は、それぞれ 41N/mm^2 , 23000N/mm^2 であった。圧縮強度試験は $\phi 70\text{mm} \times 140\text{mm}$ のコンクリートコアを用いて、JIS A1108, 同 A1149 に準じて行った。そのときの静弾性係数の測定には、ゲージ長 60mm のひずみゲージを用いた。いずれの測定においても、試験前にコアをイオン交換水に 7 日間浸漬した。

土砂化周辺のコンクリートは、ひび割れが著しく、一般のひずみゲージを用いた静弾性係数の測定ができない場合があると想定される。このことから、深さごとの静弾性係数の測定は、コアの各高さにおける荷重方向変位から平均ひずみを算出することとした。図-1 に、変位計(T 社, CE-2) とコマの設置位置及び荷重方法を示す。コマは、鉛直方向に 20mm 間隔で設置することとし、所定の位置にひずみゲージ用の瞬間接着剤で接着した。変位計の高さが 43mm であったことと、コマの 10mm $\times$ 15mm の面をコアに接着して固定するため、縦方向一列にコマを配置すると測定結果にコマの剛性による干渉が生じることが懸念されたことから、円周方向に千鳥にコマを配置した。

荷重荷重は圧縮強度から推定される最大荷重の約 1/3 として、負荷と除荷を 3 回繰返し行った。試験機の圧盤との摩擦の影響を軽減するため、上下の圧盤とコアの間に、予備のコアから切り出した $\phi 100\text{mm} \times 65\text{mm}$ のコンクリートコア(治具用コア)をそれぞれ配置した。測定対象のコアと治具用コアの端面はそれぞれできるだけ平坦に研磨しておき、部分的な断面欠損部は W/C30% 程度のセメントペーストでキャッピングした。治具用コアとの接触面には接着剤や緩衝材は配置しなかった。荷重中の荷重、変位は動ひずみ測定装置を用いて 5Hz で連続的に測定した。

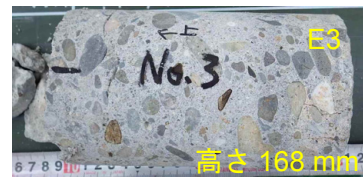
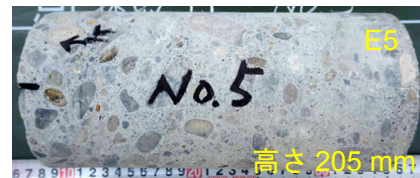


写真-1 採取直後のコアの外観

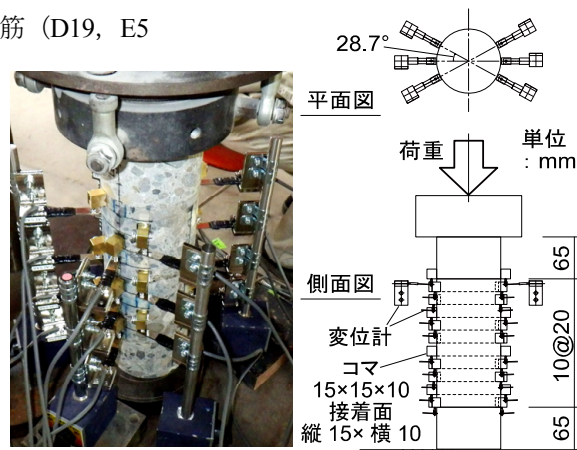


図-1 深さごとの静弾性係数の測定状況と測定方法

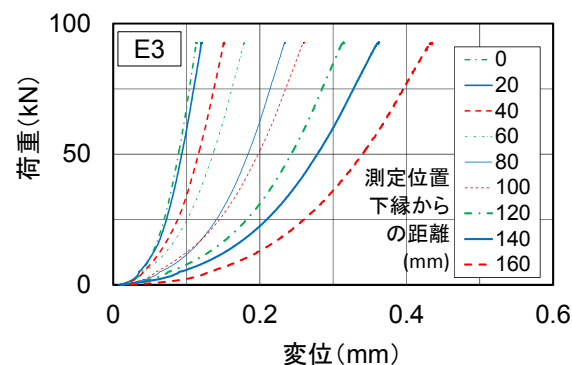


図-2 コア E3 の深さごとの荷重-変位の測定結果

キーワード RC 床版, 劣化, ひび割れ, 土砂化, 弾性挙動, 弾性係数

連絡先 305-8516 つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

3. 測定結果

図-2 に、コア E3 の 1 回目載荷時の荷重－変位の測定結果を示す。変位は同じ高さの 2 点の平均値を示す。当然ながら、測定位置が上にいくほど、変位が大きくなる結果であった。しかし、E8 のように比較的健全なコアの場合は、変位が小さいため、測定精度や粗骨材（推定最大寸法 20～25mm 程度）の影響により、測定位置が上に位置する点での変位が、すぐ下の変位よりも小さくなる場合があった。そのため、20mm ごとの平均ひずみで静弾性係数を算定すると、健全なコアでは、みかけ上、静弾性係数が負の値となる場合があった。

図-3 に、各コアの応力－ひずみ関係を示す。上記の点から、次式により、変位を 60mm ごとの平均ひずみに換算することとし、例として下縁から 60～120mm の結果（ $i=3$ ）を示した。

$$\varepsilon_i = (u_{i+3} - u_i) / L \quad (1)$$

ここに、 ε_i : i 点から $(i+3)$ 点の間の平均ひずみ（ $i=0, 1, 2, \dots$ ）， u_i : i 点における実測変位（両側面 2 点の平均値，最下端が u_0 ）， $L=3p$ ， p : 測定間隔（=20mm）
比較のため、コンクリートの圧縮強度試験で得られたひずみゲージによる静弾性係数 E_c による傾きも示す。コア E8 の載荷時の傾きは E_c と概ね一致しており、ひずみゲージによる測定と同様の結果が得られると考えられる。一方、コア E3, E5 のように、劣化したコンクリートの応力－ひずみ関係では、顕著な非線形性が見られた。コア E3, E5, E8 の結果より、概ね劣化の程度に応じて、載荷初期に大きいひずみが発生すること、載荷荷重の 1/2 程度以上は概ね直線に近い応力－ひずみ関係が見られること、繰返し載荷では 2 回目以降、概ね同じ応力－ひずみ関係が得られることがわかった。本文では暫定的に、これらの特長を表す指標として、3 回目の載荷時における載荷荷重の 50～100% の範囲を対象として応力－ひずみデータの相関式を求め、その傾き（あるいは式(2)）を深さごとの静弾性係数 $E'_{c,i}$ とする。

$$E'_{c,i} = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon_i \quad (2)$$

ここに、 $E'_{c,i}$: i 点から $(i+3)$ 点の間の静弾性係数， $\Delta\sigma$: 載荷荷重 P と $P/2$ における応力度の差， $\Delta\varepsilon_i$: 載荷荷重 P と $P/2$ における ε_i の差（3 回目の載荷時），なお、 $E'_{c,i}$ の中心深さ（下縁からの距離）は $x_i = (i+3/2)p$

図-4 に、深さごとの静弾性係数 $E'_{c,i}$ の測定結果を示す。各値の 60mm の測定範囲内にひび割れや鉄筋が含まれるものは、それぞれ記号で示した。静弾性係数測定に鉄筋の影響が懸念されるが、比較的健全なコア E8 であっても、明確な鉄筋の影響は見られなかった。比較的健全なコア E8 は、前述のとおり変位の値が小さいため、 $E'_{c,i}$ のばらつきが大きくなる傾向が見られた。土砂化部の下で著しく劣化し、目視可能なひび割れが見られたコア E3 は、全体に $E'_{c,i}$ が小さく、上縁に近いほど $E'_{c,i}$ が小さくなる傾向が見られた。また、コア E5 は目視可能なひび割れが見られなかったが、上縁付近の $E'_{c,i}$ が小さかった。

コア E8 の除荷時に見られた不規則な動きを伴うヒステリシスのような挙動は、再載荷に転じたときに急に元の載荷時の挙動に戻っていることから、コアの物性そのものではなく、変位計とコマの接点の摩擦が影響した可能性がある」と推察される（写真-2）。コア E8 のように変位が小さい場合にも対応できる測定精度が得られるよう、また摩擦の影響が解消できるよう、調査目的に応じて、測定方法を改善する必要がある。

コア E8 の除荷時に見られた不規則な動きを伴うヒステリシスのような挙動は、再載荷に転じたときに急に元の載荷時の挙動に戻っていることから、コアの物性そのものではなく、変位計とコマの接点の摩擦が影響した可能性がある」と推察される（写真-2）。コア E8 のように変位が小さい場合にも対応できる測定精度が得られるよう、また摩擦の影響が解消できるよう、調査目的に応じて、測定方法を改善する必要がある。

4. まとめ

床版上縁からの劣化により、鉛直方向の弾性特性の変化が想定されるコアを対象に、高さ方向 20mm 間隔で変位を一度に測定することにより、深さごとの静弾性係数の測定を試みた。既知のとおり¹⁾、粗骨材の影響が見られることから、実測変位を 60mm ごとの平均ひずみに換算することで概ね妥当な深さごとの静弾性係数が得られることがわかった。

謝辞：道路管理者の方々をはじめ、本調査にご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

参考文献：1) 例えば、Ross, B.E., and Hamilton III, H.R., *Construction and Building Materials*, 25(1), pp. 406-408, 2011.

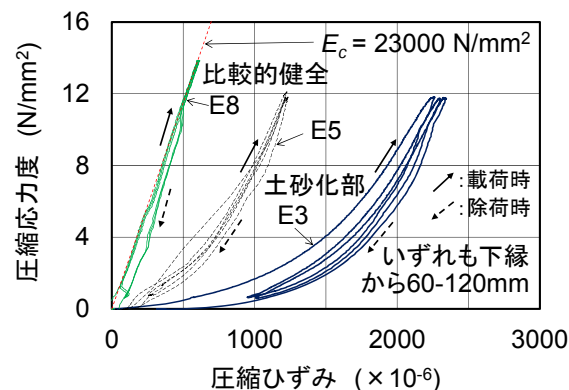


図-3 各コアの応力－ひずみ関係
下縁から 60～120mm の例

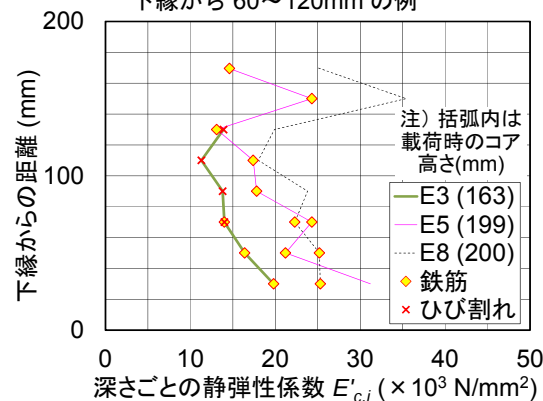


図-4 深さごとの静弾性係数 $E'_{c,i}$

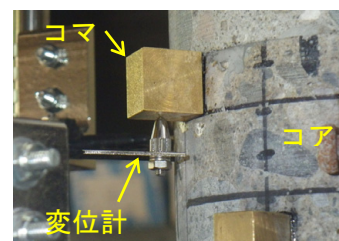


写真-2 変位計とコマの接点