

疲労損傷したコンクリートの弾性波速度と塩害劣化進行度の関係に関する基礎的研究

日本大学 正会員 齊藤 準平

1. はじめに

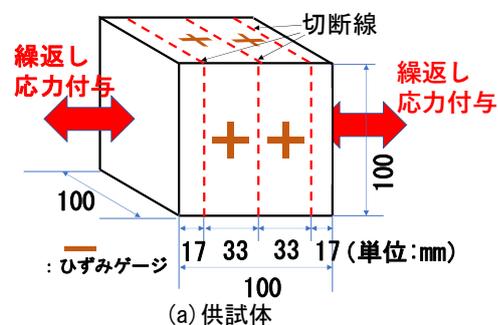
膨大な数のコンクリート橋を管理する市区町村では、「職員不足」「専門的知見不足」「財政力不足」から、それらの点検が非常に苦しい実態がある。衝撃弾性波法は専門的な知見のない人間であってもその方法自体がシンプルであり、訓練することで比較的容易に点検に適用できる非破壊試験方法として期待される。しかしながら、当該試験法を点検に用いて適切に診断をするためには、各劣化要因における劣化の程度と衝撃弾性波の関係が構築されていなければならない。そこで本研究は、劣化要因の中で最も多くの損傷事例を数える塩害を対象とし、交通輪荷重の繰返し作用に伴う疲労損傷を受けたコンクリートの塩害劣化のしやすさを簡易評価する方法として、衝撃弾性波法の適用の可能性を検討する。具体的には、100万回の繰返し荷重を与えたモルタル供試体に衝撃弾性波試験を施した後、塩水浸せき試験を実施し、分析した塩化物イオン濃度と弾性波速度との関係性を検討する。

2. 試験概要

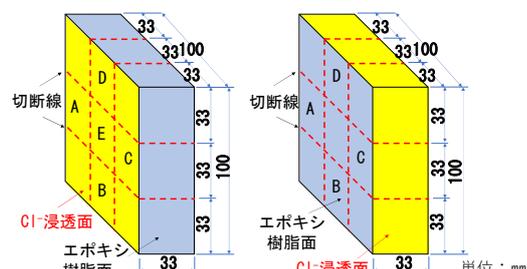
試験の概要を図-1に示す。試験は、繰返し応力付与、衝撃弾性波試験、塩水浸せき、塩化物イオン (Cl⁻) 濃度分析の順で行う。供試体の寸法は1辺100mmとした。供試体の配合は水セメント比 (W/C) を55%とし、細骨材のセメントに対する容積比 (S/C) を300Vol%とするモルタルとした。使用材料は普通ポルトランドセメント、山砂 (2.5mm ふるい通過、表乾密度 2.65g/cm³)、蒸留水を用い、打設後28日間の封緘養生を行った。材料の性質は、本供試体と同バッチで作製した同一形状、同一寸法の供試体を用いて、求めた (圧縮強度 (f'_c) 47.04 (N/mm²), 単位容積質量 2100 (kg/m³))。

応力付与は、圧縮強度に対する応力の割合を圧縮強度比 (f'_c 比) と定義し、疲労損傷の条件として応力付与が無い f'_c 比=0%、コンクリートの許容応力度として扱われる $1/3f'_c$ を目処に、10, 20, 30, 40% に設定した。繰返し作用回数は、100万回とした。なお、下限応力は、上限応力の10%とし、作用周期は0.9Hzとした。なお、応力付与試験において、 f'_c 比=30%の条件に完全なひび割れが発生したため、予備供試体にて同条件の応力付与試験を追加している。また、このひび割れ供試体はひび割れを有する条件として損傷条件に追加し、Cl⁻濃度の算出まで実施した。ひび割れ供試体のひび割れ幅は、顕微鏡 (2000倍) にて計測し、0.013~0.019mmの超微小ひび割れであることが確認された (図-2)。

衝撃弾性波試験は、応力付与方向 (Z方向) (1方向) と付与垂直方向 (X, Y方向) (2方向) の3方向に対し行った。各方向の供試体両面 (打診入力面とその反対面) の中心部に AE センサーを設置し、打診面中央部センサー近傍に打診棒を用いて衝撃を与え、発生させた弾性波を設置した2つの AE センサーで取得した。弾性波をアンプで増幅しオシロスコープにより取得した波形データより、両点における波形の立ち上がりを求め、それらの時間差 Δt を算出した。この時間差 Δt およびセンサー間距離 d を用いて弾性波速度 v を算出した。

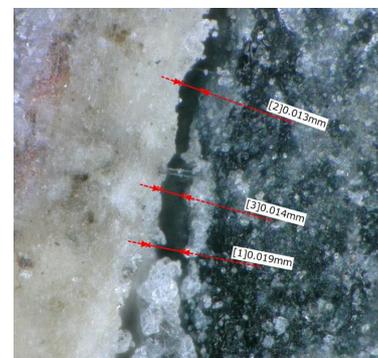


(a) 供試体



(b) 塩水浸せき用供試体

図-1 試験概要図

図-2 ひび割れ状況 (f'_c 比=30%) (拡大2000倍)

キーワード 衝撃弾性波法, 弾性波速度, 疲労損傷, 塩害劣化, 塩水浸せき試験

連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1 日本大学理工学部 TEL047-469-5241 E-mail: saitou.junpei@nihon-u.ac.jp

塩水浸せき試験は、応力付与方向の中央部から厚さ 33mm の断面の塩水浸せき用供試体を 2 個切り出し、塩水に浸せきする。塩分浸透方向は、応力付与方向とその垂直方向の 2 方向とする。Cl⁻濃度分析は、塩分浸透方向が応力付与方向の場合は A~E、垂直方向の場合は A~D の 1 辺 3.3cm の立方体を切り出し、サンプルとする。応力付与時には、ひずみゲージを貼り、応力付与終了後は残留ひずみを取得した。塩水浸せき試験は JSCE-G 572 に準じ行い、NaCl (10%) 水溶液中に 30 日間浸せきした。塩分浸透面以外の面は塩分の侵入を遮断するためエポキシ樹脂を塗布した。

3. 試験結果および考察

図-3 (a) に各塩分浸透方向における弾性波速度と付与応力の関係を示す。弾性波速度は、塩分浸透方向に対する垂直 2 方向の平均値を用いた。図によると、付与応力の増加に伴い弾性波速度が低下することがわかる。これは繰返し応力付与によって、供試体内部に微細ひび割れが発生したためと考えられる。また、浸透方向の違いに関わらず低下傾向はほとんど一致し損傷の程度は同程度であったと推測される。また、ひび割れ供試体は約 0.02mm という超微小ひび割れであるが、同方向における f_c 比=0%の弾性波速度と比較し約 28%、同 f_c 比でも 11%の差があり、明らかに低い弾性波速度になったことが認められた。

図-3 (b) に、各塩分浸透方向における Cl⁻濃度と付与応力の関係を示す。図によると、 f_c 比が増加するに伴い Cl⁻濃度が増加する傾向が認められた。 f_c 比の増加に伴う Cl⁻濃度の増加傾向は、衝撃弾性波試験によって得られた弾性波速度の低下により推測された内部損傷の存在の影響によるものと考えられる。しかし、浸透方向によって Cl⁻濃度が異なる結果は、図-3 (a) の知見（浸透方向の違いに関わらず同程度の損傷という評価）と一致しなかった。これは応力付与で発生する内部損傷に関わる損傷の分布や形状等が影響していると推測される。なお、ひび割れ供試体は同方向における f_c 比=0%の Cl⁻濃度の約 1.8 倍、同 f_c 比でも約 1.3 倍と明らかに高い濃度になっており、約 0.02mm 程度の超微小ひび割れでもかなりの塩分浸透のダメージを与えることがわかった。

図-3 (c) に、 f_c 比=0%の値に対して正規化した弾性波速度と Cl⁻濃度の関係を示す。図によると、浸透方向によって異なるものの、弾性波速度と Cl⁻濃度には一定の関係があることが認められた。これは、健全な場合に対する損傷した場合の塩害劣化のしやすさを直接的に簡易評価できる可能性を示すものである。しかし、材料の性質や損傷状態など様々な条件における弾性波速度と Cl⁻濃度（あるいは拡散係数）の関係について、さらにデータを蓄積し関係性の整理と構築を行う必要があると考える。

4. おわりに

損傷を与えたコンクリートに対する衝撃弾性波試験と塩水浸せき試験から、疲労損傷等の内部損傷により弾性波速度が低下することや、Cl⁻濃度が増加する傾向が認められた。またこの関係を整理した弾性波速度と Cl⁻濃度の関係から、衝撃弾性波試験による疲労損傷したコンクリートの塩害劣化のしやすさを直接的に簡易評価できる可能性が示された。ただし、多くの条件におけるデータの蓄積と関係性の整理・構築を行う必要があると考える。

謝辞

本実験の実施に際し、平成 30 年度日本大学理工学部交通システム工学科卒業研究生の大野航平君、渡部拓大君、森本慶君に多大な協力をいただきました。ここに付記し、謝意を表します。

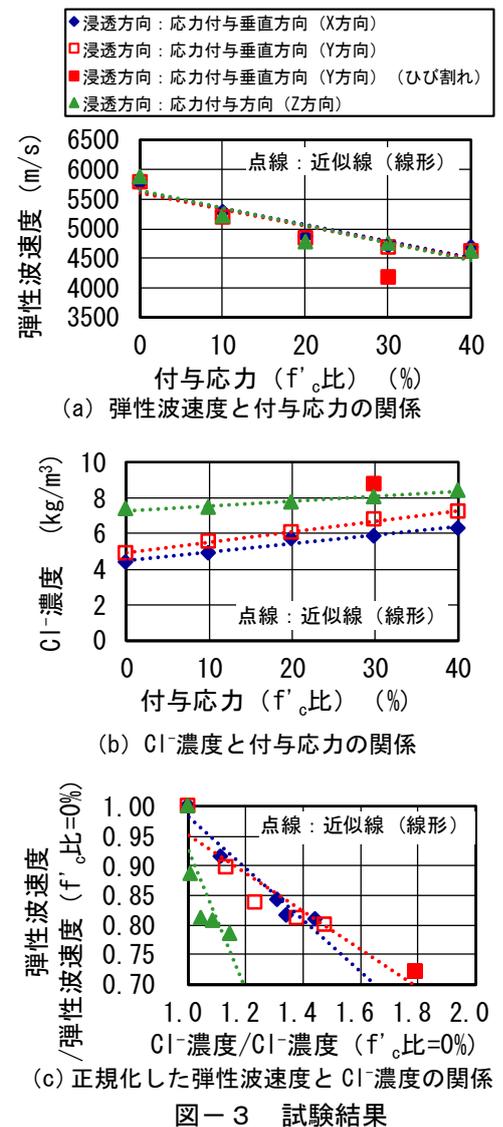


図-3 試験結果