

乾燥収縮評価のための粗骨材の動弾性係数測定に関する検討

太平洋セメント(株) 正会員 ○兵頭 彦次
 太平洋セメント(株) 正会員 杉山 真悟
 太平洋セメント(株) 正会員 谷村 充

1. はじめに

土木学会「2007 年制定コンクリート標準示方書」¹⁾では、収縮の照査に用いる収縮量として試験値や実績等に基づくことを原則とした。これにともない、コンクリートの収縮評価が重要となってきた。一方、様々な材料・配合のコンクリートに対して都度、試験を行うことは容易ではない。そのため、簡便に収縮量を評価できる手法構築が望まれる。コンクリートの乾燥収縮には骨材物性の及ぼす影響が大きく、骨材の弾性係数はその代替指標になる²⁾と考えられる。最近、超音波を用いて骨材の動弾性係数を測定する試み³⁾がなされ、乾燥収縮の簡易評価の観点から有効な結果が得られている。実用化にあたっては、検討結果の更なる拡充が重要であると考えられ、既往の研究³⁾を参考にしつつ、試料調整の影響や繰り返し精度等の観点から検討を行った。

2. 実験概要

(1) 使用粗骨材およびコンクリートの乾燥収縮

表-1 に、実験に使用した粗骨材の物性を示す。粗骨材はいずれも砕石 2005 の砕石であり、吸水率は 0.41%~2.47%、絶乾密度が $2.56\text{g/cm}^3 \sim 2.75\text{g/cm}^3$ の範囲である。骨材コアの静弾性係数は、粗骨材と同一産地の破砕前の母岩から $\phi 32 \times 64\text{mm}$ のコアを抜き取り、圧縮載荷時の応力-ひずみ曲線から求めた割線弾性係数である。また、これらの粗骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮試験結果を併記する。乾燥期間 6 か月における乾燥収縮ひずみは $-500 \times 10^{-6} \sim -1000 \times 10^{-6}$ 程度と広範囲にわたるものであった。

(2) 粗骨材の動弾性係数測定方法

測定対象試料として粗骨材粒そのものを、サイズはなるべく大きいものを選んだ。これは、測定区間長が動弾性係数の算出値に及ぼす影響が大きく、測定区間が短い場合、誤差が大きくなりやすいためである。また、超音波の伝播には含水状態が影響するため、絶乾状態の粗骨材で測定を行った。

測定機器には、超音波測定器(東横エルメス(株)製:エ

表-1 使用した粗骨材の物性とコンクリートの乾燥収縮

粗骨材種類	吸水率 (%)	絶乾密度 (g/cm^3)	骨材コアの静弾性係数 (kN/mm^2)	コンクリートの乾燥収縮ひずみ* ($\times 10^{-6}$)
A	2.13	2.62	54.3	-659
B	2.47	2.57	42.7	-820
C	1.10	2.58	76.5	-626
D	0.65	2.61	62.4	-655
E	0.41	2.69	79.3	-500
F	0.63	2.68	82.1	-590
G	0.60	2.68	84.4	-542
H	0.58	2.68	66.4	-667
I	0.44	2.75	89.2	-517
J	0.43	2.69	78.1	-512
K	0.74	2.64	68.6	-709
L	1.88	2.56	44.7	-1036
M	0.96	2.64	66.0	-873
N	0.55	2.72	81.0	-623
O	0.88	2.69	64.5	-865

*単位水量: 170kg/m^3 , W/C: 50%, 細骨材(A~H): 海砂+砕砂(吸水率: 1.20%), 細骨材(I~O): 山砂+砕砂(吸水率: 2.07%), 試験方法: JIS A 1129-2 および附属書 A(参考), 養生: 7 日間(20℃水中), 保存条件: 20℃ -60%R.H., 乾燥期間 6 か月の乾燥収縮ひずみ

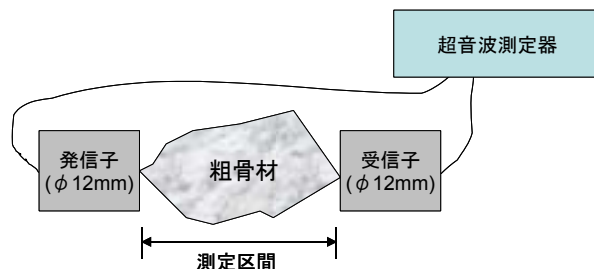


図-1 超音波測定方法

ルソニック ESI/P-10)を用いた。発信子および受信子の外径は $\phi 12\text{mm}$ 、振動数は 200kHz とした。発・受信子の中心のセンサー部を粗骨材粒の最も距離の長い 2 点(測定区間)にあて、超音波伝播時間を測定した(図-1)。測定回数は粗骨材粒あたり 5 回とし、その平均値を測定区間長で除した超音波伝播速度から式(1)を用いて動弾性係数を算出した。なお、同式で用いる密度 ρ については、骨材粒個々の値ではなく、既往の検討³⁾に準じて JIS A 1110(粗骨材の密度及び吸水率試験方法)による平均的な絶乾密度を用いた。

$$E_d = v^2 \cdot \rho = (L/T)^2 \cdot \rho \quad (1)$$

ここに、 E_d : 動弾性係数, v : 超音波伝播速度, ρ : JIS A 1110 による絶乾密度, L : 測定区間長, T : 超音波伝播時間

キーワード 乾燥収縮, 超音波, 粗骨材, 動弾性係数, 簡易評価, 統計解析

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL:043-498-3804

3. 実験結果

(1) 発・受信子接触部の平面性の影響

同一試料の発・受信子接触部を平面加工した場合と無加工の場合の動弾性係数を比較した。図-2(a)に両者の関係を示す。動弾性係数は、平面加工したほうが30%程度大きくなった。これは、超音波振動の伝達効率が向上したことによるものと思われる。一方、同一試料で測定を5回繰り返した際の変動係数について、図-2(b)に示す。変動係数は平面加工の有無にかかわらず概ね3%以下であった。一般に、超音波法の測定値の精度には、試料表面の平面性が影響するとされるが、評価指標という観点からは、測定値が相対値であっても再現性があれば良く、試料の発・受信子接触部が必ずしも平面性を有していなくても適用できると考えられる。

(2) 測定個数の影響

2種類の粗骨材(N, O)について、それぞれ40個の動弾性係数を測定し、それを基にシミュレーションを行った。40個のデータの中から3個、5個、10個、15個、20個抜き取ったときの動弾性係数の平均値が、測定を1000回繰り返した場合にどのようになるかを計算した。

図-3(a)に、測定個数と動弾性係数の平均値および最大・最小値の関係を示す。平均値は、測定回数が多くなれば一定値に収束するため、測定個数に影響を受けない。一方、最大値および最小値は測定個数に依存することがわかる。平均値は、粗骨材Oのほうが粗骨材Nよりも小さいが、測定個数が3個の場合、最大値が逆転する可能性があることを示している。次に、動弾性係数の平均値±10%を許容誤差と仮定し、1回の試験結果がその範囲内になる確率と測定個数の関係を、図-3(b)に示す。粗骨材の種類によって値は異なるが、いずれも10個程度以上の試料を測定すれば、かなり高い確率で平均値に近い値が得られることがわかった。ただし、この確率はバラツキの程度によって異なってくるため、バラツキが大きい骨材の場合には、数回繰返し試験を行うなどの工夫が必要となると考えられる。

(3) コンクリートの乾燥収縮との関係

前述の検討を踏まえ、発・受信子接触面を無加工、試料数10個として測定した骨材粒の動弾性係数とコンクリートの乾燥収縮ひずみの関係を図-4に示す。また、比較として骨材コアの静弾性係数との関係を併記する。骨材粒の動弾性係数とコンクリートの乾燥収縮には良好な関係が認められ、動弾性係数が小さいほど乾燥収縮が大きい傾向が認められた。骨材コアの静弾性係数との関係

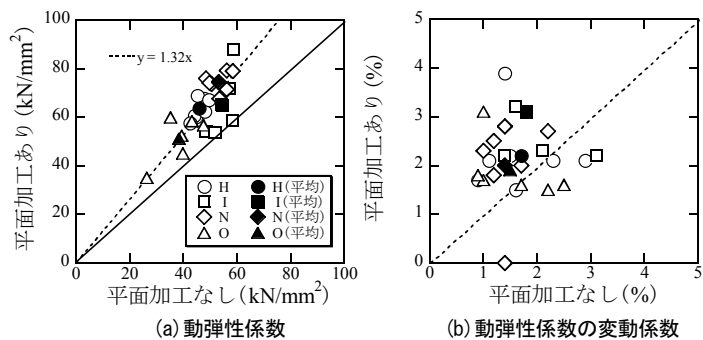


図-2 発・受信子接触部の平面性の影響

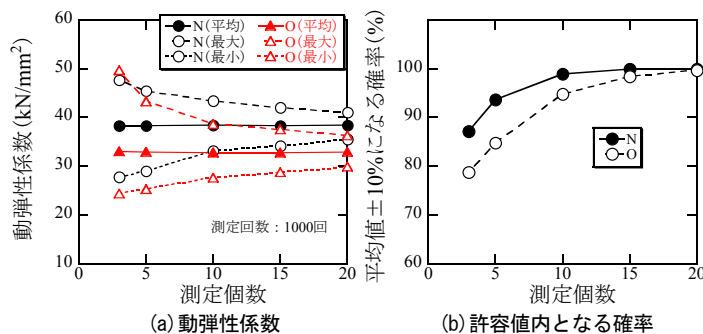


図-3 シミュレーションによる測定個数の影響評価

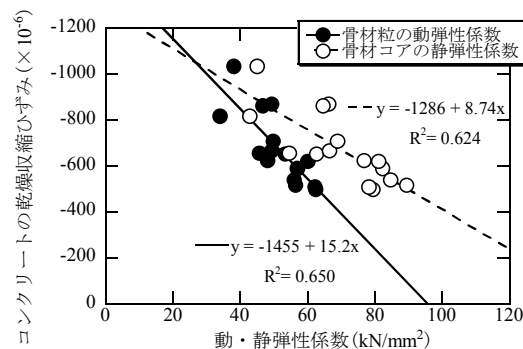


図-4 コンクリートの乾燥収縮との関係

と比べても、決定係数はほぼ同程度と遜色の無い結果となっており、簡易評価としての有効性が確認された。

4. まとめ

試料の発・受信子接触部の平面性は必ずしも必要の無いこと、測定個数は10個程度以上であれば妥当な結果を得る確率が高いこと、これらの条件で測定した骨材粒の動弾性係数とコンクリートの乾燥収縮の関係は良好な関係が得られ、同手法の有効性が確認された。

[参考文献]

- 1) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書[設計編]，2008.3，2) 兵頭彦次ほか：コンクリートの乾燥収縮特性に及ぼす骨材物性の影響とその予測，コンクリート工学協会「コンクリートの収縮特性評価およびびび割れへの影響」に関するシンポジウム論文集，pp.17-24，2010.12，3) HENG SALPISOTH ほか：簡易測定可能な方法を用いた粗骨材弾性係数とコンクリートの収縮率の関係，土木学会第 65 回年次学術講演会，V-284，pp.567-568，2010.9