

繰返し載荷除荷曲線よりコンクリートの含水率を推定する方法に関する一検討

○宮崎大学工学部 学生会員 下中村 圭太 宮崎大学工学部 正会員 尾上 幸造
宮崎大学工学部 正会員 中澤 隆雄 宮崎大学工学部 正会員 今井 富士夫
宮崎大学工学部 学生会員 鋤田 諒

1. はじめに

コンクリートの物性は含水率の影響を強く受ける。コンクリートの含水率を測定する手段として、乾燥法と非破壊型の高周波容量（誘電率）式水分計を用いて測定を行う誘電法が挙げられる。しかし、乾燥法において高温環境下におけるコンクリートの質量変化が長期にわたる¹⁾ため、即時性に欠ける場合がある。また、誘電法においては材料・配合・材齢の違いによって誘電率と含水率の関係（検量線）が異なることや、対象物の表層における一部分しか測定できないことが想定される。そこで、コンクリートの基本的かつ重要な物性である圧縮強度の測定時にしばしば計測される「応力-ひずみ曲線」から含水率を推定するためのパラメータを取得することができれば、即時性という点で有効であり、さらにそのパラメータがコンクリートの力学的特性と密接に関連していることから有意義であると考えられる。

2. 本研究の目的

尾上・松下²⁾は、コンクリートの圧縮破壊過程を「ひび割れ進展エネルギー」³⁾を用いて考察した。ひび割れ進展エネルギー E_{crac} の算定方法を図-1に示す。

実験の結果、ひび割れ進展エネルギー E_{crac} は、初回載荷時の損失エネルギー E_{il} の大きさに比例して増加するが、 E_{il} に占める E_{crac} の割合 E_{crac}/E_{il} は、配合・含水率が同一であれば、上限応力の大きさによらず常に一定値となり、供試体の含水率が高いほど小さくなる²⁾ことが明らかとなった。これは、含水率の低いコンクリートでは水分子の吸着水が減ることによりひび割れ進展に必要な表面エネルギーが増加すること、あるいは固相間から絞り出される吸着水が少ないことなどによって、水分子の移動に基づく変形よりも微細ひび割れの進展に基づく変形が卓越するため³⁾と考えられている。

以上の実験結果を踏まえ、 E_{crac}/E_{il} の値を求めることでコンクリートの含水率を推定できる可能性があると考えた。そこで本研究では、低ひずみ領域における少数回の繰返し載荷試験により得られる E_{crac}/E_{il} の値からコンクリートの含水率を推定する手法の開発を目的とした。

3. 実験概要

(1) 使用材料、配合条件および供試体の形状寸法

供試体材料として、普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm³）、石灰石砕砂（表乾密度 2.66g/m³）、石灰石砕石（表乾密度 2.68g/cm³）を用いた。また、リグニンスルホン酸系の AE 減水剤（比重 1.25）およびアルキルアリルスルホン酸系の AE 剤を使用した。

なお、本研究では異なる水セメント比間での試験結果の比較を行うため、水セメント比 45%、55%、65%の 3 配合の供試体を準備した。供試体の配合条件と単位量を表-1に示す。

なお、供試体の形状寸法は $\phi 75 \times 150\text{mm}$ の円柱とした。

(2) 供試体含水率の調整

図-2に示す手順により供試体の含水率を 4 段階に調整した。供試体グループ D、A2、A1、W の順に供試体の含水率は低いものと予想される。

(3) 供試体含水率の測定

本研究では誘電法と乾燥法、両手法にて含水率を測定した。誘電法として、高周波容量式水分計（kett 社製 HI-520）を用いて繰返し載荷試験の前後に含水率を測定した。測定モードは「コンクリートモード」とし、部材厚さダイヤル

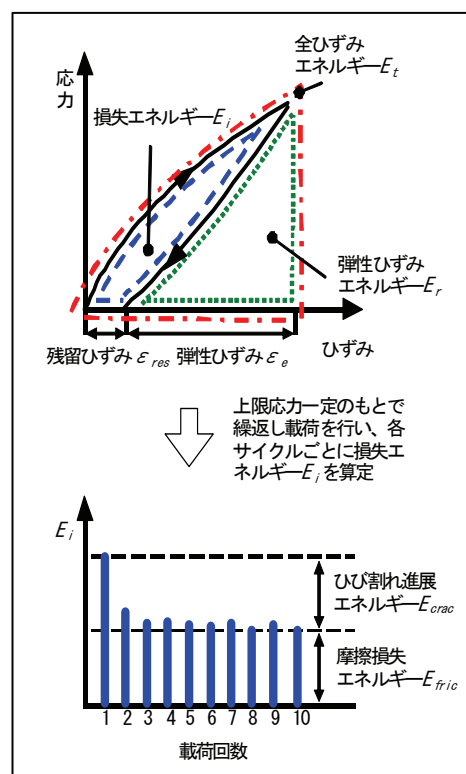


図-1 ひび割れ進展エネルギーの算定方法

表-1 供試体の配合条件と単位量

水セメント比 W/C[%]	細骨材率 s/a[%]	単位量[kg/m ³]					
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	AE剤
45	42	165	367	780	1086	1.147	1.468
55	44	165	300	842	1080	0.938	1.2
65	46	165	254	889	1083	0.794	1.016

は「40mm」、温度ダイヤルは「AUTO」に設定して測定を行った。なお、誘電法による含水率の測定結果は繰返し載荷試験の前後の平均値で示す。一方、乾燥法による含水率測定のため載荷試験の前後に供試体の質量測定を行い、繰返し載荷試験後は炉乾燥を施した。

(4) 繰返し載荷試験

繰返し載荷試験には電気油圧式サーボボルサ（静的容量 30t）を使用し、載荷速度は載荷過程・除荷過程ともに毎秒 0.2N/mm^2 とした。上限応力は繰返し載荷試験前に同等の含水率に調整した供試体 1 本について圧縮強度試験を実施し、最大応力を求めてその 30%の応力とした。なお、繰返し載荷の上限応力比の大きさは、供試体の配合や含水率が同等であれば E_{crac}/E_{il} の値に影響を及ぼさない²⁾ことが判明しており、上限応力の相異は本実験結果に何ら影響を与えるものではないと考えられる。なお、下限応力は 0N/mm^2 とした。検長 60mm のワイヤストレインゲージを 2 枚貼付し、 0.4N/mm^2 毎に荷重および縦ひずみをデータロガーにて計測した。供試体グループ W については、供試体の顕著な質量減少が予測されたため、供試体グループ W だけは水中で繰返し載荷試験を実施した。その他の供試体グループ D, A1, A2 については、気中で繰返し載荷試験を実施した。なお、1 配合の 1 供試体グループについて 3 本の供試体を用いて繰返し載荷試験を実施し、実験結果はそれらの平均値で示す。

4. 実験結果と考察

図-3 に乾燥法により測定した含水率と誘電法により測定した含水率の測定結果とその関係を示す。供試体グループ A1, A2, D について、誘電法により測定した含水率が乾燥法により測定した含水率よりも高い含水率を示した。この実験結果を踏まえ本研究では、正確な含水率を測定できる乾燥法により測定した含水率を用いて実験結果の検討を行った。

E_{crac}/E_{il} と乾燥法より測定した含水率の関係について、それぞれの対数を取ったところ、両者の関係は水セメント比によらず負の 1 次式で近似できることが判明した。そのため、 E_{crac}/E_{il} と乾燥法より測定した含水率の関係は累乗関数の関係で表せることが明らかとなった。その関係を図-4 に示す。この結果、 E_{crac}/E_{il} よりコンクリートの含水率を推定する回帰式を得たので式 (1) に示す。

$$Y=0.07X^{-9.24} \quad (1)$$

ここに、Y は推定含水率 (%), X は E_{crac}/E_{il} である。

なお、回帰式 (1) から得られる推定値と実測値の距離（残差の絶対値）に水セメント比間で有意差があるか、危険率 5% で分散分析を行った。その結果、水セメント比間で推定値と実測値に有意差は認められなかった。すなわち、水セメント比によらず回帰式 (1) を用いて良いと言える。

5. まとめ

- (1) 誘電法により測定される含水率は乾燥法により測定される含水率よりも高い値を示す場合があり、非破壊型の高周波容量式水分計を用いて含水率の測定を行う場合、この点に注意することが必要となる。
- (2) E_{crac}/E_{il} と乾燥法により測定した含水率の関係から得られた累乗関数の回帰式 (1) を、 E_{crac}/E_{il} よりコンクリートの含水率を推定可能な式として提案する。なお、水セメント比 45～65% の範囲内においてこの式は有効となる。

参考文献

- 1) 松下, 尾上: セメント硬化体内部空隙中の液体の表面張力が圧縮強度に及ぼす影響, コンクリート工学論文集, Vol.17, No.1, 2006
- 2) 尾上, 松下: 液体浸漬によるコンクリートの静的圧縮強度低下に関するエネルギー的考察, 土木学会論文集 E, Vol.64, No.4, 2008
- 3) 岡田, 小柳, 六郷: 含水率の異なるコンクリートの圧縮破壊過程に関するエネルギー的考察, 土木学会論文報告集, No.248, 1976

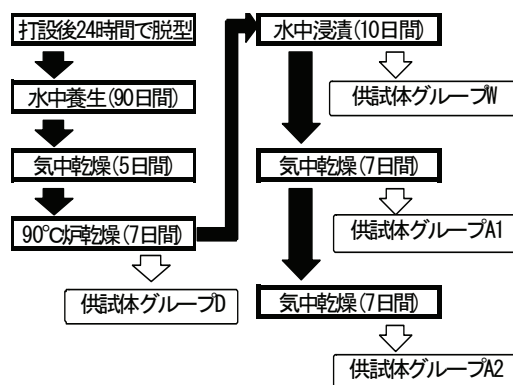


図-2 供試体含水率の調整手順

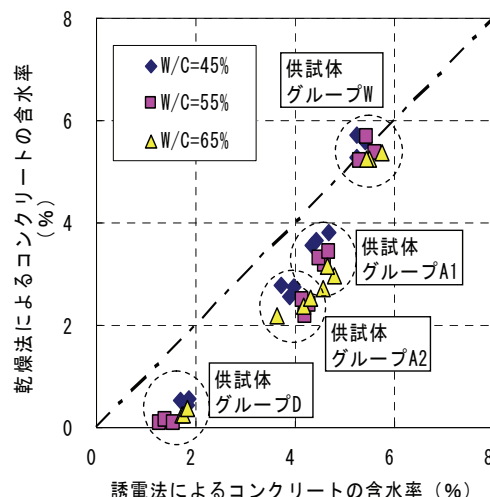


図-3 乾燥法と誘電法による含水率の関係

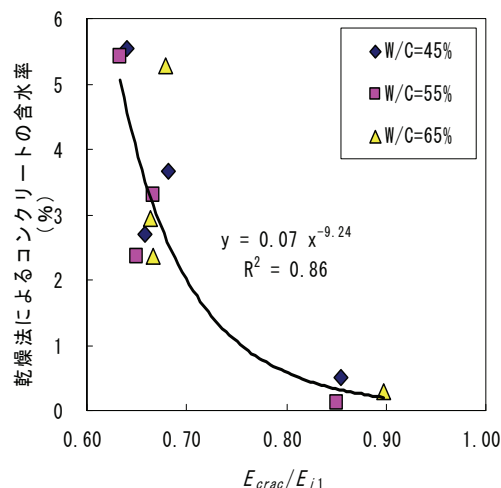


図-4 乾燥法による含水率と E_{crac}/E_{il} の関係