

14.2 規格外骨材の耐久性評価手法に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：材料地盤研究グループ（基礎材料チーム）

研究担当者：渡辺博志、片平博

【要旨】

骨材資源を有効に利用するためには、粗骨材がコンクリートの耐凍害性や乾燥収縮等の性能に与える影響を簡易に評価するための試験法の確立が望まれている。22 年度は最終年度である。耐凍害性に関しては粗骨材を砂利と碎石とに分類したうえで、砂利に対しては簡易凍結融解試験方法による評価法を提案し、碎石に関しては吸水率による評価方法を提案した。乾燥収縮に対しては、ひずみゲージを用いた粗骨材の乾燥収縮試験方法を提案し、また、骨材の岩種や成因年代による評価方法や、コンクリートの強度と弾性係数による評価方法を提案した。

キーワード：コンクリート、規格外骨材、耐凍害性、冷凍庫、乾燥収縮、ひずみゲージ、弾性係数

1. はじめに

近年、良好な原石山が減少しており、骨材品質が低下する傾向にある。また、これに合わせて原石山での掘削量の増大、廃棄岩の処分場の増大、骨材輸送距離の増大等による環境負荷が大きくなっている。これらのことから、現在の品質規格を満足しない骨材であってもコンクリートの性能を損なわない範囲の骨材であれば、有効利用を図ることで骨材の供給量を確保し、環境負荷を低減することが望ましい。

骨材品質がコンクリートに与える影響としてはフレッシュ性状、強度、耐久性などがあるが、特に耐凍害性や乾燥収縮に与える影響が大きく、また、これらの照査には、コンクリートを製造しての長期間に及ぶ試験が必要である。このため、骨材を対象とした簡易な試験によって、できあがりコンクリートの品質を評価する手法を確立し、骨材利用可否の判断を適切に行うことが望まれている。

22 年度は、最終年度であり、2. から 5. に示す判定方法、試験方法に関するマニュアル(案)を整理した¹⁾。

2. 骨材の耐凍害性判定方法（案）

2.1 適用範囲

本判定方法（案）は、凍結融解抵抗性を必要とするコンクリートに使用する骨材の耐凍害性の判定方法の案を示すものである。

骨材は天然の砂利および碎石の粗骨材を対象とするものであり、人工軽量骨材、各種スラグ骨材、および再生骨材は対象としない。また、細骨材は対象としない^{注1)}。

凍害の環境条件としては、一般的な土木構造物が凍結融解作用を受ける場合を想定しており、積雪寒冷地などにおいて、判定基準を引き上げることを妨げるも

のではない。また、海水や凍結防止剤等による塩害・凍害の複合劣化は対象としない。

注 1) 過去の研究成果²⁾より、細骨材に品質がコンクリートの耐凍害性に与える影響が小さいことを確認していることから、細骨材は対象としないこととした。

2.2 骨材の最大寸法

判定試験を行う粗骨材の最大寸法は 25mm 以下を標準とする。なお、それ以上の寸法の骨材の評価については、同一産地、同一岩種であれば、25mm の判定結果をそのまま用いて判定して良い^{注2)}。

注 2) 図-1 に示すとおり、密度および吸水率は骨材粒子が小さいものほど品質が低くなる傾向を示している。また、安定性に関しては粒子径が 20～40mm 程度で最も劣化しやすい傾向を示している。これらのことから、同一産地、同一岩種であれば、25mm の判定結果をそのまま流用して良いと考えた。

2.3 骨材の分類

砂利と碎石とでは、骨材物性とコンクリートの耐凍害性との関係が異なるので、砂利と碎石は分けて扱う。

2.4 砂利の評価方法

粗骨材の簡易凍結融解試験方法（案）によって試験を行い、損失率を求める。試験には水道水（真水）を使用する方法と塩水を使用する方法とがあり、どちらで評価しても良い。試験結果の例を図-2 および図-3 に示すが、損失率とコンクリート（水セメント比 55%、AE コンクリート）の耐久性指数とは良い対応を示しており、特に真水を使用した試験での対応関係が良好である。

試験から得られる損失率が 5% 以下であれば、耐凍害性を有する骨材と判定して良い。

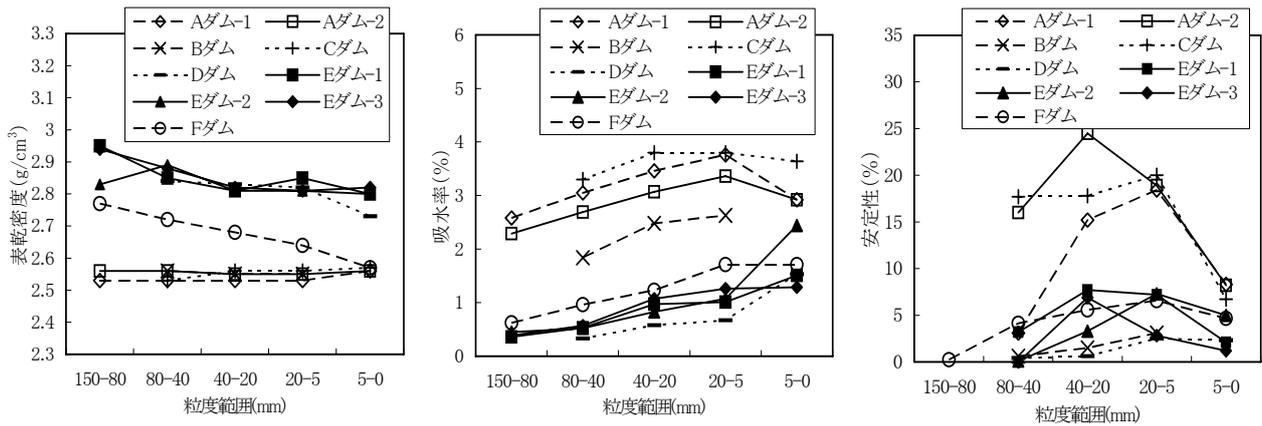


図-1 骨材の粒度範囲と骨材物性値との関係

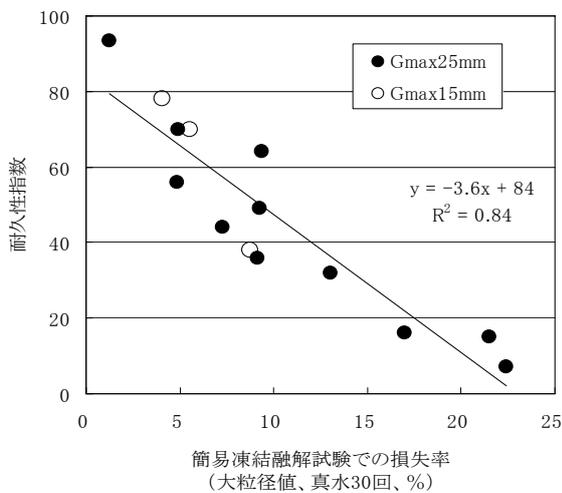


図-2 損失率と耐久性指数の関係（真水 30 回）

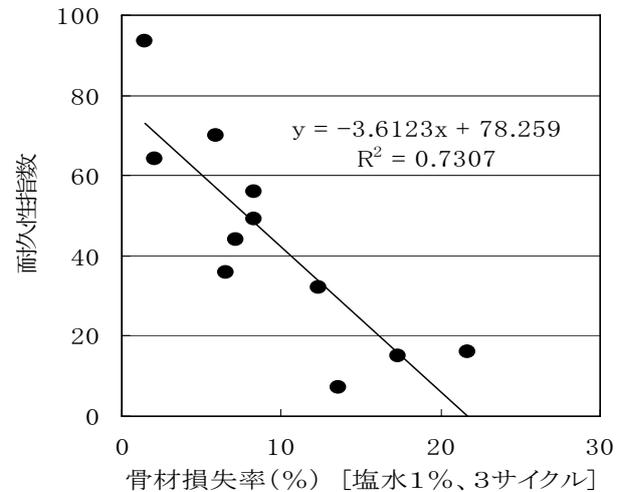


図-3 損失率と耐久性指数の関係（塩水 3 回）

2.5 碎石の評価方法

粗骨材の吸水率で評価して良い。図-4は、吸水率とコンクリート（水セメント比 55%、AE コンクリート）の耐久性指数との関係であり、吸水率が 3%以下の範囲と、耐久性指数 60 以上の範囲が対応している。

吸水率が 3%以下であれば、耐凍害性を有する骨材と判定して良い。

2.6 2.4および2.5で耐久性を有すると判定されない骨材の扱い

表-1に示す配合でコンクリート供試体を製造し、JISA 1148「コンクリートの凍結融解試験方法（A法）」によって試験を実施し、耐久性指数が 60 以上であれば、耐凍害性を有する骨材と判定して良い^{注3)}。

注3) この判定方法は、コンクリート標準示方書「ダムコンクリート編」と同一とした。

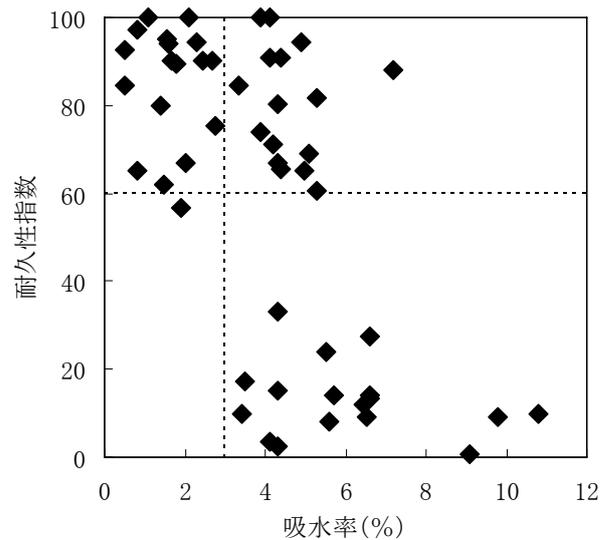


図-4 碎石の吸水率と耐久性指数の関係

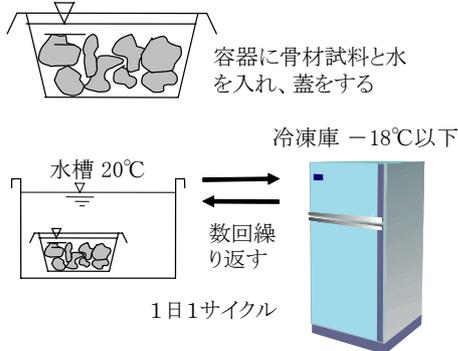
表－1 凍結融解試験を行う場合の配合と試験条件

配合	試験条件
セメントの種類	普通ポルトランドセメント
水セメント比	55%
スランプの範囲	8.0±1.0cm
空気量の範囲	4.5±0.5%
養生	水中養生
試験開始材齢	28日

3. 骨材の簡易凍結融解試験方法（案）

3.1 試験の概要

この方法は当研究チームが再生骨材の耐凍害性を評価するために開発した試験法である³⁾。図－5に示すように、容器に骨材試料と水（または塩水）を入れ、その容器ごと冷凍庫と水槽に交互に入れることで凍結融解作用を与え、再生骨材の粒度の変化から再生骨材の凍結融解抵抗性を評価する試験法である。



図－5 簡易凍結融解試験の概要

3.2 適用範囲

本試験法は、砂利粗骨材の耐凍害性を評価することを目的に実施する試験法である。試験は砂利粗骨材の25mm以下の骨材を対象に実施する。

3.3 試験に用いる機器

(1) 容器

ポリプロピレン製で蓋を有するもの（写真－1参照）。容積は1,000cc程度のものが望ましい。



写真－1 容器の例

(2) 冷凍庫

試料を-18°C以下に冷凍することが可能な冷凍庫^{注4)}。なお、-18°C以下に到達するのに要する時間は各冷凍庫の性能と試料量によって異なるために、使用する冷凍庫で一度に試験可能な試料量を事前に確認しなければならない。

注4) スリースターもしくはフォースター冷凍庫を使用する。スリースターとは「最低温度が-18°C以下となる能力」を有する冷凍庫、フォースターとは「容量100リットルあたり4.5kgの食料を24時間以内に-18°C以下に冷凍する能力」を有するもの。現在市販されている冷凍庫（冷凍冷蔵庫を含む）のほとんどはフォースターである。

(3) 水槽

水温が20°C程度の水槽

(4) ふるい

JIS Z 8801に規定する呼び寸法が4.75mm、9.5mm、16mm、19mm、26.5mmの網ふるい

(5) はかり

秤量2kg以上、感量0.1g以下のはかり

(6) 温度計

容器内の水温を測定できる温度計、測定レンジは-30°C～25°C

3.4 試験手順

(1) 粗骨材の粒度群を4.75-9.5mm、9.5-16mm、16-19mm、19-26.5mmとし、対象とする骨材の最大寸法から、上位2つの粒子群（表－2参照）を試験の対象とする^{注5)}。対象とする骨材試料を気燥状態でふるい分け、上位2つの粒子群について1kg以上の試料を準備する。

注5) コンクリートの耐凍害性には、骨材中の大きな粒子の影響が顕著であることが判明したため、試験の対象を上位2つの粒子群とした⁴⁾。

表－2 試験の対象とする粒子群

粗骨材最大寸法		試験の対象とする粒子群 (mm)			
公称	ふるい目の寸法	4.75～9	9～16	16～19	19～26.5
20mm	19mm		○	○	
25mm	26.5mm			○	○

(2) 各粒子群ごとに1つの容器を用意し、試験を行う。容器の容量に対して骨材試料の量ができるだけ多くなるように試料の量を設定し^{注6)}、容器に入れた粒子群の試料質量を0.1g単位で測定する。

注6) 骨材よりも水の比熱が大きいので、容器中の水量が多くなると凍結融解にかかる時間が長くなる。

- (3) 容器に水（または塩水）を満たし、蓋をする。水は水道水で良い。塩水は、質量比で1%の塩化ナトリウムを水道水に混入したものを用いる。
- (4) 容器の一つに温度計を設置する。温度計は容器の中心部分の温度が測定できるように配置する。
- (5) 容器を冷凍庫に入れ、中の水が -18°C 以下となるまで冷凍する。凍結時間は16時間程度となるように冷凍庫の冷凍能力と容器数量を設定する。
- (6) 容器を冷凍庫から取り出し、水槽に入れ、中の氷が完全に融解するまで水中におく。融解時間は8時間程度を標準とする。
- (7) 1日1サイクルで(5)と(6)を交互に繰り返す^{注7)}。

注7) 休日等で試験ができない日は凍結したままの条件として良い。

- (8) 試験の終了は、水道水を使用した場合は30サイクル、塩水を使用した場合は3サイクルとする。所定のサイクル数が終了した後に、容器から試料を取り出し、気乾状態として、試験を行う前に使用したふるいでふるい、ふるいとどまった試料の質量と、ふるいを通過した試料の質量を目量1gまで計る。

3.5 計算

(1) 各粒子群の損失質量分率

各粒子群の損失質量分率 (P_1) は、次式によって算出し、四捨五入によって小数点以下1けたに丸める。

$$P_a = \left[1 - \frac{m_2}{m_1 + m_2} \right] \times 100$$

ここに、 P_a : 各粒子群の損失質量分率 (%)

m_1 : 試験後にふるい上にとどまった試料の質量 (g)

m_2 : 試験後にふるいから抜け落ちた試料の質量 (g)

(2) 骨材の損失質量分率

骨材の損失質量分率は、次式によって算出する。

$$P_b = \frac{P_{a1} \times b_1 + P_{a2} \times b_2}{b_1 + b_2} \times 100$$

ここに、 P_b : 骨材の損失率 (%)

P_{a1} : 最上位の粒子群の損失質量分率 (%)

P_{a2} : 最上から2番目の粒子群の損失質量分率 (%)

b_1 : 最上位の粒子群の質量分率 (%)

b_2 : 最上から2番目の粒子群の質量分率 (%)

4. コンクリートの乾燥収縮に与える粗骨材の評価方法 (案)

4.1 位置づけ

本評価方法は、一般的な土木用コンクリート^{注1)}の乾燥収縮率が過大とならない粗骨材を比較的簡易に選定するための目安となる指標を示すものである。

4.2の評価方法は、乾燥ひび割れ抑制に対して比較的高い要求性能が求められる条件（プレストレストコンクリートや環境条件の厳しい場合など）に使用する骨材や、骨材の岩種等から大きな乾燥収縮率が予想される骨材^{注2)}、または、過去に使用実績のない骨材を評価する場合等を想定している。

4.3の評価方法は、環境条件の厳しくない一般的なRC構造物に使用する骨材、これまでの使用実績や過去の試験結果等から乾燥収縮率が大きくないことがあらかじめ予想される骨材を評価することを想定している。

4.4は、製造されたコンクリートの乾燥収縮率を、圧縮強度試験用のテストピースを用いて、大まかに推定することを想定している。

注1) 細骨材に良質な川砂、セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比40~55%、単位水量 $160 \sim 170 \text{kg/m}^3$ 程度の一般的な土木用コンクリートの配合を想定している。

注2) 本編3.3の結果によれば、乾燥収縮率が大きい可能性のある粗骨材は、白亜紀以降に堆積した砕屑岩（砂岩、頁岩、粘板岩）である。

4.2 ひずみゲージによる骨材の乾燥収縮率測定法による評価

骨材が碎石である場合には、ひずみゲージによる粗骨材の乾燥収縮率試験方法(案)に従って試験を行う。骨材の乾燥収縮率とコンクリートの乾燥収縮率の関係は図-6のようである。この図をもとに、骨材の乾燥収縮率によって評価を行うための目安を表-3に示す。

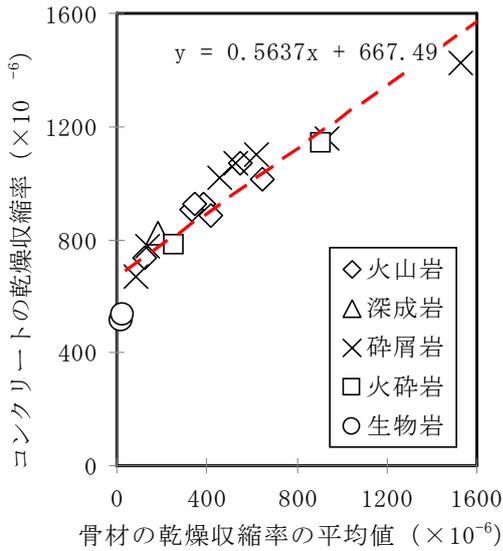


図-6 骨材の乾燥収縮率とコンクリートの乾燥収縮率との関係

表-3 ひずみゲージによる骨材の乾燥収縮率測定法による評価の目安

コンクリートの乾燥収縮率の目標値	1,000×10 ⁻⁶ 以下	850×10 ⁻⁶ 以下
骨材の乾燥収縮率の目安	600×10 ⁻⁶ 以下	320×10 ⁻⁶ 以下

表-3の目安を満足しない粗骨材であっても、コンクリートの長さ変化率試験を行って、要求性能を満足できる結果が得られれば、これを使用して良い。このときの配合条件としては、コンクリート工学協会より、「普通 30 18 20 N」の配合が提案されている⁵⁾。

4.3 骨材の岩種による評価

骨材の絶対乾密度、吸水率、安定性と骨材の乾燥収縮率との関係を図-7, 8, 9に示す。これらの図をもとに、ばらつきも考慮して粗骨材の乾燥収縮率が目標値を満足するための骨材物性の目安を表-4に示す。

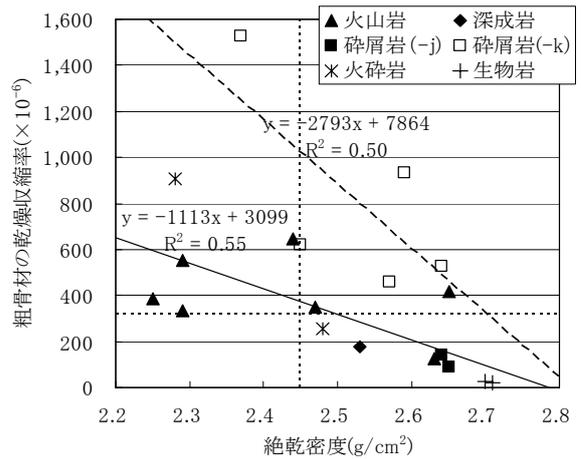


図-7 絶対乾密度と骨材の乾燥収縮率の関係

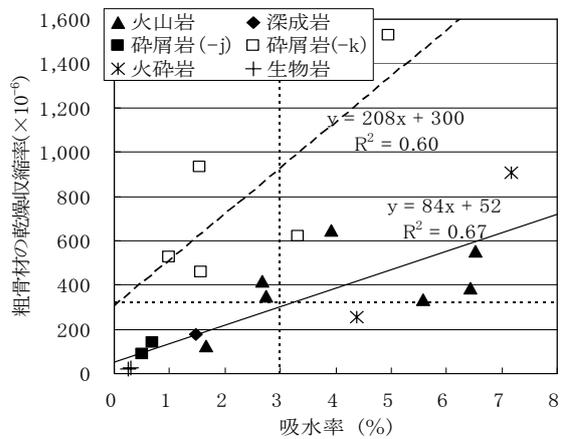


図-8 吸水率と骨材の乾燥収縮率の関係

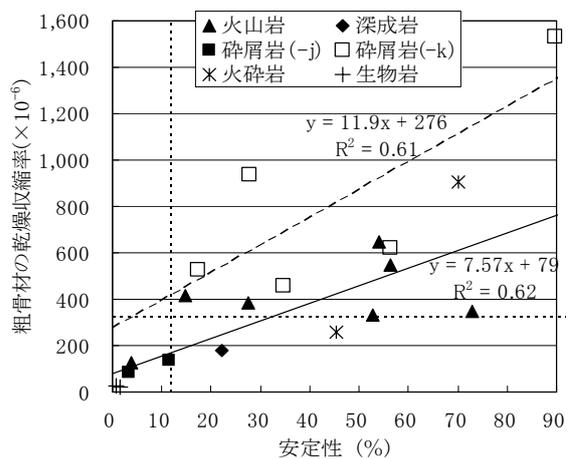


図-9 安定性と骨材の乾燥収縮率の関係

表-4 骨材の基本物性による評価の目安

粗骨材の乾燥収縮率の目安 物性値	600×10 ⁻⁶ 以下			320×10 ⁻⁶ 以下		
	密度(g/cm ³)	吸水率 (%)	安定性 (%)	密度(g/cm ³)	吸水率 (%)	安定性 (%)
砂岩、粘板岩、頁岩*	2.60 以上	1.0 以下	12 以下	2.60 以上	1.0 以下	8 以下
上記以外の砕石または砂利	2.45 以上	3.0 以下	12 以下	2.50 以上	2.0 以下	12 以下

*特に白亜紀以降の砂岩、粘板岩、頁岩では、表-4の物性値が満足できず、乾燥収縮が大きくなる傾向がある

4.4 コンクリートの動弾性係数による評価

弾性係数は、圧縮強度試験用供試体を用い、以下のいずれかの方法によって測定する。

- (1) JIS A 1149 の方法に従って静弾性係数を測定する
- (2) JIS A 1127 に示す縦振動による方法で動弾性係数を測定する
- (3) 超音波伝播速度の測定から動弾性係数を測定する

圧縮強度と、各弾性係数との関係は図-10~12 に示すようである。図にはコンクリート標準示方書に示される圧縮強度と弾性係数の関係を実線で示す（動弾性係数に関しては示方書の値+10kN/mm²として示す）。また、この実線よりも弾性係数が4kN/mm²低い線を点線で示す。測定される圧縮強度と弾性係数の関係が、この点線よりも低い領域にある場合には、コンクリートの乾燥収縮率が1,000×10⁻⁶を超える可能性が高いと評価する。

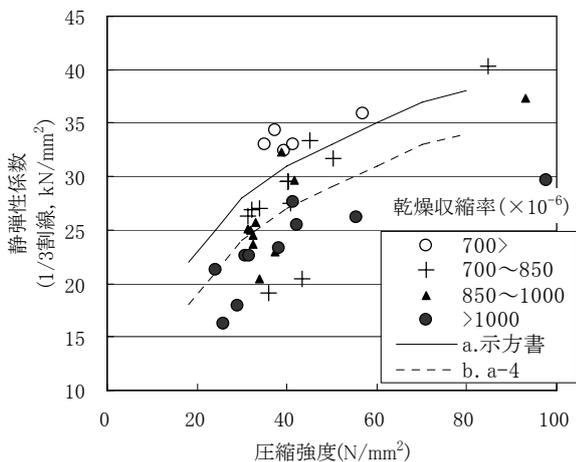


図-10 圧縮強度と静弾性係数の関係

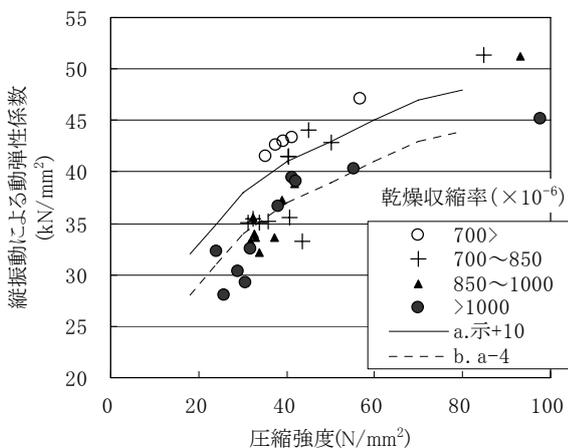


図-11 圧縮強度と縦振動による動弾性係数の関係

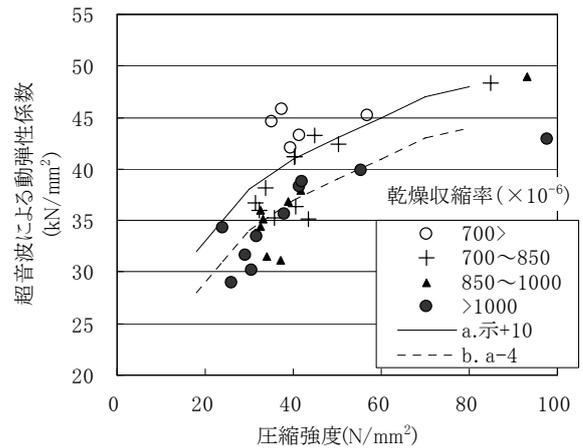


図-12 圧縮強度と超音波による動弾性係数の関係

5. ひずみゲージによる粗骨材の乾燥収縮率試験方法 (案)

5.1 適用範囲

碎石粗骨材の乾燥収縮率をひずみゲージを用いて測定する方法を定めたものである。

5.2 試験に用いる機器

(1) ひずみゲージ

測長3mmの合金箔ゲージを標準とする。

(2) 接着剤およびコーティング剤

接着剤はひずみゲージを粗骨材の平滑面に完全に接着することが可能なもの。

コーティング剤は、それを塗ることで完全な防水処理が可能なもの。また、これを施工することで、ひずみの測定値に悪影響を及ぼさないもの。

(3) 測定器

ひずみゲージの測定が可能な測定器

5.3 粗骨材

粗骨材最大寸法が20mmの場合は15-20mmの範囲、粗骨材最大寸法が25mmの場合は20-25mmの範囲骨材粒子を選定する。選定に際しては、対象とする粗骨材全体を代表する骨材粒子を選定することとし、個数は10個を標準とする。

粗骨材をコンクリート用カッターで切断するか、グラインダー等で研磨することによって、ひずみゲージが貼り付け可能な面積の平滑面を作製する。

5.4 ひずみゲージの貼り付け

平滑面に対して、ひずみゲージを貼付ける部分より

も若干大きめの面にコーティング剤を塗り、その上に接着剤でひずみゲージを貼付ける。その後、コーティング剤でひずみゲージとリード線の素線部分の全体を覆うことで防水処理を施す。

5.5 測定

ひずみゲージを貼り付けた粗骨材を 20℃の水中に入れる。ひずみが十分に安定した状態で、粗骨材を水中から取り出し、気温 20℃、湿度 60%の条件でひずみが安定するまで乾燥させる。測定期間の目安としては、粗骨材寸法が 20mm 程度の場合、水中、乾燥ともに 4 日間程度である。

5.6 測定結果の整理

粗骨材の乾燥収縮率を求めるための手順を以下に示す。

- (1) 乾燥状態で安定したひずみ量から、水中で安定したひずみ量を差し引くことで、各粗骨材粒子の乾燥収縮率を求める。
- (2) 試験を実施した粗骨材総数の平均値を求める。

参考文献

- 1) 渡辺博志、片平博：骨材がコンクリートの凍結解抵抗性と乾燥収縮に与える影響と評価試験法に関する研究、土木研究所資料、第 4199 号、2011.3
- 2) 片平博、渡辺博志：低品質細骨材の有効利用に関する研究、ダム工学、No.238、pp.25-33、2006.7
- 3) 片平博、渡辺博志：再生骨材の耐凍害性評価手法の研究、コンクリート工学論文集、Vol.21、No.1、pp.25-33、2010.1
- 4) 片平博、伊佐見和夫、渡辺博志：砂利粗骨材の耐凍害性評価法に関する研究、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.65、No.5、pp.861-862、2010.9
- 5) コンクリートの収縮問題検討委員会報告書、(社) コンクリート工学協会、2010.3

STUDY ON DURABILITY TEST METHOD OF LOW QUALITY AGGREGATE FOR DAM CONCRETE

Budget : Grants for operating expenses

Research Period : FY2006-2010

Research Team : Material and Geotechnical
Engineering Research Group (Concrete and
Metallic Materials Research Team)

Author : WATANABE Hiroshi
KATAHIRA Hiroshi

Abstract :

The purpose of this study is to propose the quality evaluation methods of concrete aggregates which is judged as off-specification material according to the existing standard specification.

We conducted the following two researches.

1. Study on indexes of aggregate quality to evaluate freeze-thaw resistance of concrete produced;

According to the experimental results, we proposed different indexes for crushed stone or gravel as coarse aggregate of concrete respectively.

We also carried out the research on development of a new simple test method to assess freeze-thaw resistance of aggregate.

The case of concrete produced with gravel as coarse aggregate, this test gives a good indicator for freeze-thaw resistance of concrete.

The case of concrete produced with crushed stone as coarse aggregate, we proposed evaluation method used water adsorption of coarse aggregate.

2. Study of prediction methods on drying shrinkage of concrete;

We studied a test method of drying shrinkage of coarse aggregate using strain gage.

We proposed valuation method of drying shrinkage of concrete used that, kind of rock, and elastic modulus of concrete specimens.

Key words :

Concrete, Low quality aggregate, Freeze-thaw resistance, Freezer, Drying shrinkage, Strain gage, Elastic modulus