

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、伊佐見和大

【要旨】

骨材資源を有効に利用するためには、その骨材がコンクリートの性能に与える影響を正しく評価し、その結果に基づいて、その骨材の使用の適否を判断する必要がある。硬化コンクリートの性能のうち骨材品質の影響を強く受けるものとして耐凍害性と乾燥収縮が挙げられる。コンクリートの耐凍害性に与える影響に関しては砂利と碎石とで特徴が異なる傾向があり、21年度は主に砂利に対する検討を行った。この結果、新たに検討している簡易凍結融解試験結果がコンクリートの耐久性指数と良い対応を示した。コンクリートの乾燥収縮率の推定に関しては、乾燥収縮率と対応の良い簡易指標について検討を行った結果、骨材の比表面積（水蒸気吸着率）やコンクリートの動弾性係数との対応が良いことが分かった。

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、動弾性係数

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、簡易な評価試験法の確立が望まれている。

21年度は、以下について検討を行った。

- (1) 骨材がコンクリートの耐凍害性に与える影響を簡易に評価するための試験方法、評価方法の検討
- (2) 骨材がコンクリートの乾燥収縮率に与える影響を簡易に推定する評価指標の検討

2. 耐凍害性に関する検討

2.1 これまでの経緯

コンクリートの耐凍害性を確保するためには、コンクリート中の空気量と水セメント比を適切に設定するとともに、良質な骨材を使用する必要がある。コンクリート標示方書等では骨材の品質が定められている。

従来、骨材の耐凍害性の評価には安定性試験が用いら

れてきているが、安定性試験結果とコンクリートの凍結融解試験結果とが必ずしも良い対応を示さないとの報告もある¹⁾。

そこで、安定性試験法に替わる骨材の品質評価方法として、骨材の簡易凍結融解試験方法について検討を行っている。この試験法は、当研究チームが再生骨材の耐凍害性を評価する手法として提案した一般の冷凍

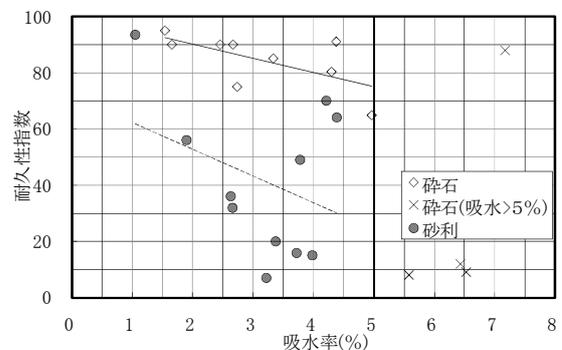


図-1 吸水率と耐久性指数の関係

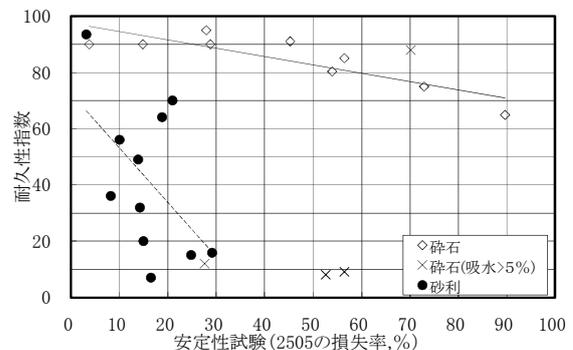


図-2 安定性と耐久性指数の関係

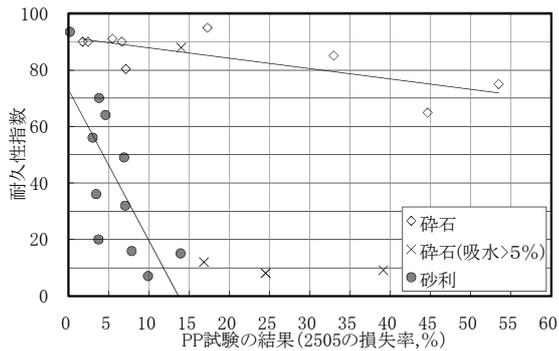


図-3 簡易凍結融解試験 (PP 試験) 結果と耐久性指数の関係

庫を用いた簡易試験法である²⁾。

平成 20 年度までの検討において、骨材の吸水率、安定性損失質量百分率 (以下、安定性という) および簡易凍結融解試験結果 (凍結融解回数 20 回) について、コンクリートの耐久性指数との対応を検討した。この結果は図-1~3に示すように、いずれの指標を用いた場合でも、骨材が砂利の場合と砕石の場合とでは傾向が異なること、また、簡易凍結融解試験結果は、安定性に比較すれば僅かに耐久性指数との対応関係が良好なもの、骨材の評価指標として採用できるだけの対応関係は得られなかった。

そこで、21 年度はさらに検討を深めることとした。なお、砂利と砕石とで大きく傾向が異なることから、21 年度は対象を砂利に絞って検討を行った。

2.2 実験方法

砂利骨材の耐凍害性評価試験方法として、安定性試験と簡易凍結融解試験に着目した検討を行った。

簡易凍結融解試験は、安定性試験と同様に、骨材試料を 2520,2015,1510,1005 の各郡にふるい分け、約 1,000cc のポリプロピレン容器に骨材と水を入れ、-18℃以下の冷凍庫に 16 時間、20℃の水槽に 8 時間を 1 サイクルとして、所定のサイクルの凍結融解作用を与え、試験前に留まるふるい目から抜け落ちる損失率を求める試験法である¹⁾。サイクル数は再生骨材に対しては 10 回で良いが、今回の砂利骨材に対しては 30 回まで実施し、繰り返し回数の影響についても検討した。

一般に安定性試験では、骨材全体の粒度分布を考慮して、各郡の損失率に各郡の粒度割合を乗じた値を積分して骨材全体の安定性 (ここではこれを全粒径値とよぶ) を求めている。ここで、図-4は粒径ごとの安

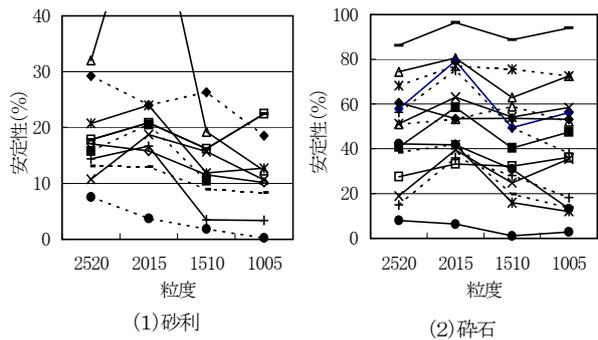


図-4 粒度ごとの安定性の比較

表-1 砂利骨材(2505)の品質

粗骨材種類	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗骨材種類	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
砂利1	2.4	3.98	砂利7	2.5	2.63
砂利2	2.41	3.78	砂利8*	2.53	1.9
砂利3*	2.39	3.72	砂利9(玉砕)	2.48	4.39
砂利4	2.53	2.66	砂利10*	2.47	2.86
砂利5	2.47	3.22	砂利11	2.45	4.21
砂利6	2.59	1.05			

*は1505でもコンクリートを製造

定性の値をみたものであるが、特に砂利においては粒径が大きいものほど安定性の値が大きくなる傾向が認められた。また、一般にコンクリートの耐凍害性に与える影響は粒子径の大きな骨材により大きく依存すると言われており¹⁾、これらのことから、今回は全粒径値とは別に、2505 の骨材であれば上位 2 粒度に当たる 2515 の範囲の安定性を求めた (1505 の骨材に対しては 1505 の安定性)。これは、簡易凍結融解試験結果も同様とした。これら大粒径値と呼ぶこととする。これらの試験結果とコンクリートの耐久性指数との関係を調査した。

なお、この検討は表-1に示す 11 種類の砂利粗骨材を対象に実施した。なお、表-1 中の*印の骨材に関しては粗骨材最大寸法 15mm のコンクリートの耐凍害性との関連についても調査した。

コンクリートの製造は表-1に示す各砂利粗骨材 (Gmax25mm が 11 種類、Gmax15mm が 3 種類) を使用し、細骨材には良質な川砂、セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、目標空気量 4.5% の AE コンクリートを製造し、JISA 1148 コンクリートの凍結融解試験方法の A 法 (水中凍結水中融解法) に従って耐久性指数を求めた。

2.3 実験結果

安定性 (全粒径値) と耐久性指数との関係を図-5 に、安定性 (大粒径値) と耐久性指数との関係を図-6 に示す。図-5 より、全粒径安定性が 12% 以下と

する現在の品質規格の範囲にも耐久性指数が60を下回るデータが2点含まれる結果となった。一方、図-6より、大粒径安定性が12%以下の範囲での耐久性指数は全て60以上となった。また、図-5に比較して対応関係の良否を示す決定係数(R²)が向上した。

簡易凍結融解試験結果のうち、損失率の全粒径値について、繰返し回数10回、20回、30回の結果を図-7~9に示す。耐久性指数との決定係数は繰返し回数が多くなるに従って向上する傾向を示した。従っ

て、繰返し回数は少なくとも30回程度は必要なものと考えられる。

また、簡易凍結融解試験結果のうち、大粒径値と耐久性指数との関係を図-10に示す。図-9および10を図-5および6と比較すると、安定性よりも簡易凍結融解試験結果のほうが耐久性指数との決定係数が高くなった。また、安定性と同様に、全粒径値よりも大粒径値のほうが決定係数が高くなった。

簡易凍結融解試験は安定性試験と同類の試験であ

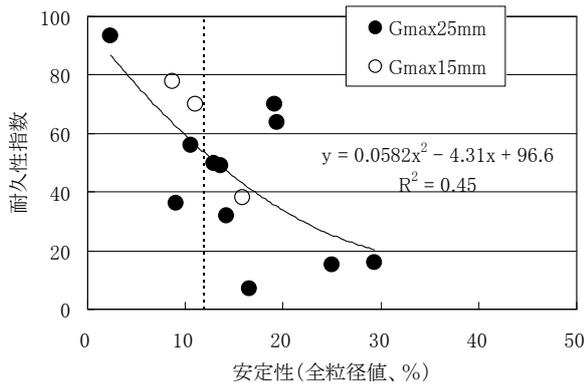


図-5 安定性(全粒径値)と耐久性指数の関係

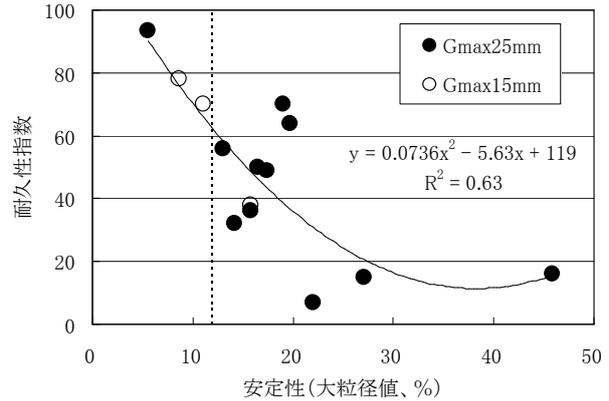


図-6 安定性(大粒径値)と耐久性指数の関係

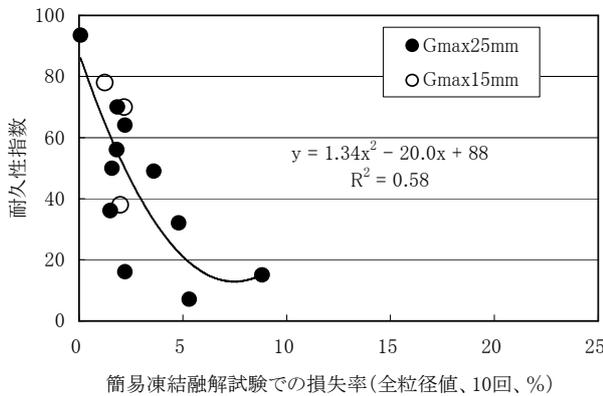


図-7 簡易凍結融解試験結果(全粒径値、10回)と耐久性指数の関係

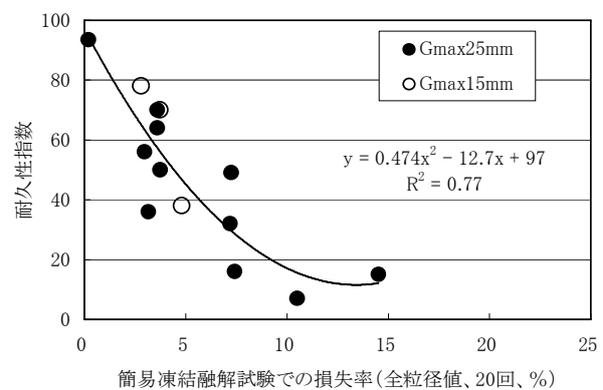


図-8 簡易凍結融解試験結果(全粒径値、20回)と耐久性指数の関係

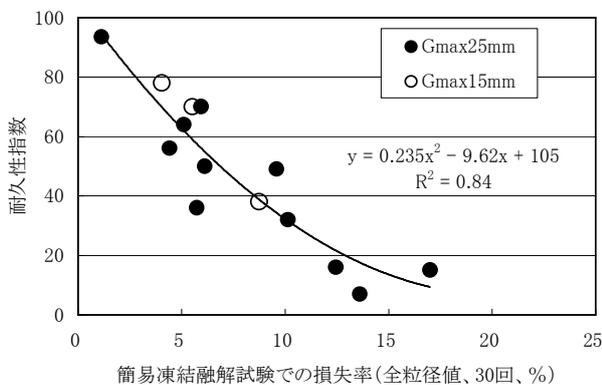


図-9 簡易凍結融解試験結果(全粒径値、30回)と耐久性指数の関係

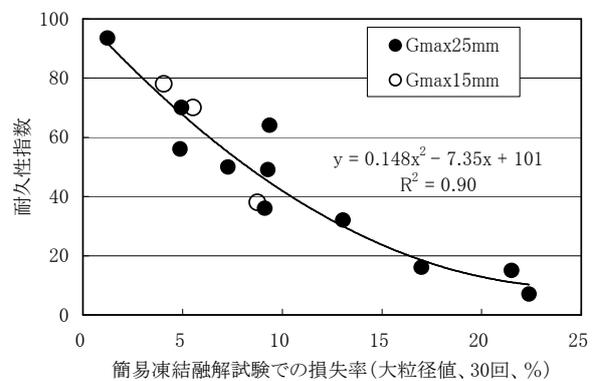


図-10 簡易凍結融解試験結果(大粒径値、30回)と耐久性指数の関係

るが、実際の凍害と同じ水の凍結作用を骨材に与えている点において、安定性よりも対応が良くなったことが考えられる。

なお、今回の検討結果では、30 サイクル程度の凍結融解を行う必要があり、試験の合理化を検討する必要がある。

3. 乾燥収縮率推定手法の検討

3.1 目的

近年、骨材の品質低下によってコンクリートの乾燥収縮率の増加が懸念されている。コンクリートの乾燥収縮率を測定する方法としては「JIS A 1129 コンクリートの長さ変化試験」があるが、コンクリート供試体を製造した後、20°C、湿度60%の環境で6ヶ月の測定を行う必要があり、その検証は容易ではない。そこで、乾燥収縮率を比較的簡易に推定するための評価指標について検討を行った。

3.2 実験方法

表-2に示す25種類の比較的low品質な粗骨材(Gmax25mm)を用い、細骨材には良質な川砂、セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、W/C55%のAEコンクリートを練混ぜ、100×100×400mmの角柱供試体を製造し、JIS A 1129に従って長さ変化率を測定した。6ヶ月経過時点の長さ変化率について、表

表-2 乾燥収縮試験の対象とした粗骨材

大分類	小分類	岩種	試料数
火成岩	火山岩	安山岩	7
	半深成岩	-	
	深成岩	花崗岩	1
堆積岩	砕屑岩	砂岩、シルト岩、頁岩	5
	火砕岩	凝灰岩	3
	生物岩	石灰岩	2
変成岩		-	
上記の混合	川砂利	川砂利	7
計			25

表-3 比較対照とした物性と長さ変化率と関係

比較対象とした物性	測定方法	長さ変化率との相関係数R		
		砕屑岩	砕屑岩以外	
粗骨材の基本物性	絶対乾密度	JIS A 1110	0.76	0.77
	吸水率	JIS A 1110	0.81	0.80
	安定性	JIS A 1122	0.79	0.76
水蒸気吸着率	20°C、湿度33%での吸着率		0.92	0.72
コンクリートの弾性係数	動弾性(1) 撓み振動	JIS A 1127 (角柱供試体)	0.87	0.86
	動弾性(2) 縦振動	JIS A 1127 (円柱供試体)	0.89	0.85
	動弾性(3) 超音波	超音波伝搬速度 (円柱供試体)	0.93	0.87
	静弾性(1)	JIS A 1149 (1/3応力割線)	0.87	0.72
	静弾性(2)	初期接線	0.77	0.86

-3に示す各種物性との対応を検討した。

乾燥収縮に影響を与える要因としては骨材の空隙や強度が関係していると考え、絶対乾密度、吸水率、安定性を候補とした。水蒸気吸着率とは、骨材の内部空隙も含めた比表面積を簡易に推定するために提案されている方法³⁾で、絶対乾にした粗骨材を20°C、湿度33%の容器内に入れ、空気中の水蒸気を吸着させ、吸着前後の粗骨材の質量差から水蒸気吸着率を求めるもので、その水蒸気吸着率が骨材の比表面積と対応するというものである。また、乾燥収縮は主にペーストの収縮によって起こり、骨材はその収縮の抵抗する役割を果たす。従って乾燥収縮の大きなコンクリートは、骨材が軟らかく、結果としてコンクリートの弾性係数が低いことが予想される。そこで表-3に示すように様々な測定手法で弾性係数を測定した。なお、静弾性係数は、円柱供試体の圧縮試験時における破壊応力の1/3に至るまでの応力ひずみ曲線の割線で求めるのが一般的であるが、乾燥収縮は低い応力で発生すると考えられることから、応力ひずみ曲線の初期接線からも弾性係数を求めた。なお、静弾性係数を求める際の圧縮試験時のひずみ測定にはコンプレッソメータを使用した。

3.3 実験結果

コンクリートの6ヶ月経過時点の長さ変化率と表-3に示す各物性との関係を調査した。この結果、砕屑岩とそれ以外の骨材とでは対応関係が異なる結果となった。そこで、それらを分けて1次式で回帰し、相関係数を求めた。この値を表-3に示す。

これらの物性の中で、長さ変化率と良い相関関係を示したのはコンクリートの動弾性係数であった。また、砕屑岩に対しては水蒸気吸着率も良い対応を示した。

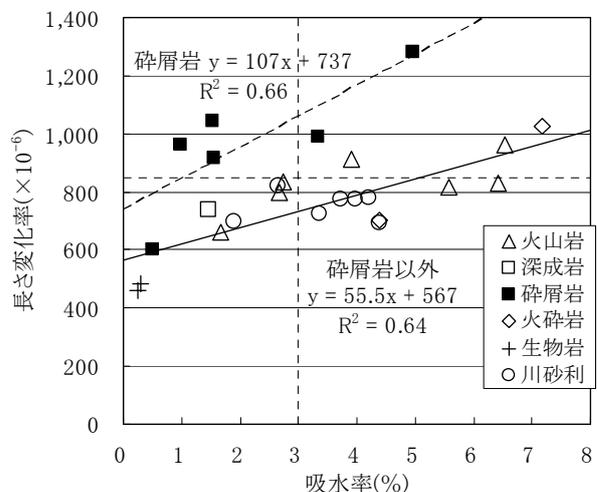


図-11 吸水率と長さ変化率との関係

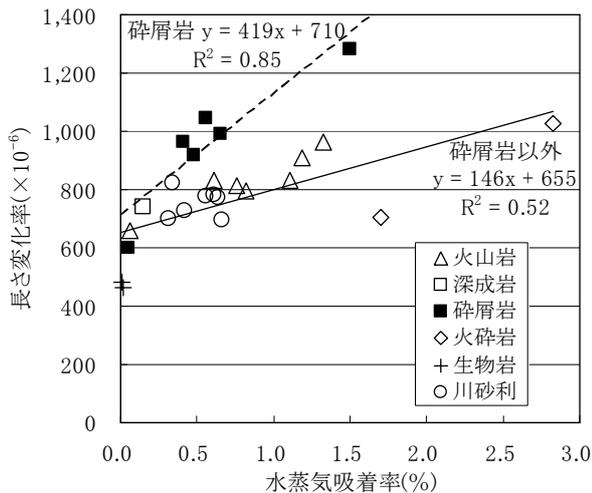


図-12 水蒸気吸着率と長さ変化率との関係

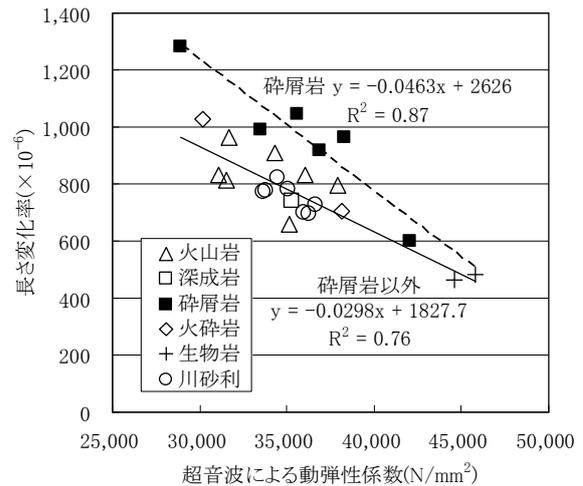


図-13 動弾性係数（超音波）と長さ変化率との関係

吸水率と長さ変化率との関係を図-11に、水蒸気吸着率と長さ変化率との関係を図-12に、動弾性係数（超音波）と長さ変化率との関係を図-13に示す。

3.4 乾燥収縮率の管理手法に関する一考察

実工事においては、長さ変化率が極端に大きくなる骨材を排除するための手法が必要となる。今回の実験結果の範囲から、その方向性を検討する。

図-11には現在の骨材品質基準を点線で示した。この基準を満足している範囲において長さ変化率が 8×10^4 を超えたのは碎屑岩のみであり、碎屑岩以外は全て 8×10^4 以下であった。また、碎屑岩であっても吸水率、安定性共に小さな値のG1（吸水率0.5%、安定性3.3%）を用いたコンクリートの長さ変化率は小さかった。

これらのことから、粗骨材が碎屑岩の場合には、骨材の品質基準を現状よりも厳しく設定するか、または、今回の実験結果で乾燥収縮率と対応の良かった水蒸気吸着率や圧縮強度試験用供試体の動弾性係数を測定することで、それらの値から可否を判定する方法が考えられる。

一方、岩種が碎屑岩以外の場合には、骨材の品質基準を満足していることを確認することで、長さ変化率の照査を省略できる可能性がある。

ただし、限られた実験範囲での考察であり、細骨材の影響等、今後、整理しなければならない課題も多い。また、可否の判定基準となる数値の設定に関しても、今後の研究課題である。

4. まとめ

21年度の検討から以下の結果が得られた。

- (1) 粗骨材の物性とコンクリートの耐久性指数との関係は、碎石と砂利とで異なる傾向を示した。
- (2) 粗骨材が砂利の場合、対象とする粒度を選定した簡易凍結融解試験結果はコンクリートの耐久性指数と良い対応を示した。
- (3) 乾燥収縮によるコンクリートの長さ変化率に関して、骨材の各種物性やコンクリートの動弾性係数との関連を調査した。この結果、骨材が碎屑岩の場合とそれ以外の岩種とで対応関係が異なる結果となった。
- (4) 今回の指標の中で、乾燥収縮率と良い相関を示したのはコンクリートの動弾性係数であった。また、碎屑岩に関しては水蒸気吸着率も高い相関を得た。
- (5) 今回の実験結果から、乾燥収縮率が大きくなる骨材を排除するための評価方法についての試案を検討した。

参考文献

- 1)長谷川寿夫、藤原忠司：コンクリート構造物の耐久性シリーズ凍害、技報堂出版、p.44-57、1988
- 2)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
- 3)今本啓一、石井寿美江、荒井正直：各種骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮特性と骨材比表面積の影響、日本建築学会構造系論文集、第606号、pp.9-14、2006.8

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

Budget: Grants for operating expenses

General account

Research Period: FY2006-2010

Research Team: Material and Geotechnical Engineering Research Group

(Concrete and Metallic Materials)

Author: WATANABE Hiroshi

KATAHIRA Hiroshi

ISAMI Kazuhiro

Abstract :

The purpose of this study is to develop the effective utilization of low quality aggregates for dam concrete. We conducted the following two researches in 2009.

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 are also studying a new simple test method to assess freeze-thaw resistance of aggregate.

The case of concrete produced with gravel as coarse aggregate, this test results of large particle size of aggregate is a good indicator for freeze-thaw resistance of concrete.

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

We examined the correlation between drying shrinkage of concrete and various parameters.

Dynamic elastic modulus of concrete specimens was the most suitable index for the prediction of drying shrinkage.

Key words :

Concrete, Low quality aggregate, Freeze-thaw resistance, Freezer, Drying shrinkage, Dynamic elastic modulus