

低品質骨材を用いたコンクリートの特徴

IV. 鳥取産低品質骨材の耐凍結融解性

服部九二雄*・森井俊廣*・柘植 巳**

平成4年6月30日受付

Properties of Concrete Made with Lower Qualitative Aggregates

IV. Resistance of Concrete Made with Lower Qualitative Aggregates from Tottori Prefecture to Freezing and Thawing

Kunio HATTORI*, Toshihiro MORII* and Miichi TSUGE**

We carried out the experiment on the resistance of concrete to freezing and thawing in 1990 and 1991. In 1990, we checked the physical properties on the following items about the coarse aggregates(crushed stone) from 5 prefectures in the Chugoku area :

- ① bulk density and absorption
- ② percentage of abrasion by Los Angeles test
- ③ soundness of aggregate by saturated solution of sodium sulphate.

As a result, it was clear that the aggregate from the eastern part of Tottori Pref. had a large unsoundness and the resistance of this aggregate to freezing and thawing was suspicious.

In 1991, the experiment on the resistance of concrete made with the aggregate from the eastern part of Tottori Pref. to freezing and thawing was carried out. After being cured in water with 20°C for 14 days, the concrete specimens were exposed to freezing and thawing in the laboratory. The type of exposure is rapid freezing in air and thawing in water. The test piece is a prism with 10 cm square and 40 cm long. Weight, volume, density, dynamic modulus of elasticity, pulse velocity, bending strength and compressive strength were measured. These factors were compared with the each initial value at the 14th day, and the resistance to freezing and thawing was evaluated. From this experiment, we may conclude that the aggregate from the eastern part of Tottori Pref. has the higher resistance to freezing and thawing.

* 鳥取大学農学部農林総合科学科生産環境工学講座

** 鳥取大学名誉教授

* *Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University*

** *Emeritus Professor of Tottori University*

ま え が き

筆者らは、昭和56年より低品質骨材を用いたコンクリートの耐久性に関する研究を行ってきた^{3,4,6,7)}。本論文は、平成2・3年度の科学研究費総合研究(A)「農業土木事業における低品質骨材の利用開発に関する研究」(研究代表者 國武昌人・佐賀大学教授)⁵⁾の分担研究をまとめたものである。

本研究で対象とした骨材は、中国五県で最も使用頻度の高い粗骨材(碎石)を選定した。その結果、山口、広島、島根、岡山の四県は各一種類の碎石、鳥取県は東部と西部より一種類づつの碎石を入手することができた。

これら6種類の碎石について、初年度は、コンクリート用材料としての物理試験を行い、次年度には、それらの中で低品質と判断できる碎石があれば、それについて凍結融解試験を行うことにした。なお、鳥取県東部碎石とは、鳥取市を中心に、西部碎石とは、米子市を中心に使用されているものを意味する。

骨材の物理試験結果

下記のような物理試験を実施した。

- ① 比重および吸水率試験
- ② ロスアンゼルス試験機によるすりへり試験

③ 硫酸ナトリウムによる安定性試験

なお、通常行うその他の物理試験は、入手骨材量が少なかったことと偏った粒径の骨材しか入手できなかったため実施しなかった。

上記の試験結果は、第1表にまとめてある。この物理試験結果より以下のことがわかる。

- ① 比重・吸水率は、特に小さいものはなく、コンクリート用骨材として十分に使用できる。
- ② すりへり減量は、舗装用30%以下、ダム用40%以下の範囲にあり、碎石にしては極めて小さい値である。
- ③ 安定性試験による損失重量の限度は粗骨材で12%であるが、鳥取県東部の試料の異常に大きな値が目立ち、他の試料はコンクリート材料として適合の範囲に入っている。

全試料を肉視したところ、鳥取県東部の最大骨材寸法は10mm程でかつ10mm以下のものが多く、他のものに比べ粒径の細かさが際立っていた。このことは、安定性試験の際、硫酸ナトリウムによる侵食を受け易く、同一のふるいを多量に通過してしまう結果となったものと考えられた。ただし、安定性試験方法がJISの規準と若干異なる。即ち、入手量の少なさと粒径の偏りが各試料間で異なり、5mmふるいに残った試料全体を1つの試料として

第1表 物理試験の結果

項 目	鳥取東	鳥取西	岡山県	広島県	山口県	島根県
表 乾 比 重	2.70	2.80	2.63	2.67	2.74	2.66
絶 乾 比 重	2.67	2.74	2.62	2.66	2.73	2.63
吸 水 率 (%)	1.17	2.25	0.45	0.64	0.53	1.26
すりへり減量 (%)	10.8	12.4	10.8	7.7	9.4	10.0
損 失 重 量 (%)	20.2	3.2	0.3	0.2	8.2	2.6

(注) 鳥取東：鳥取東部骨材 鳥取西：鳥取西部骨材

第2表 実験に使用した材料の物理的性質

骨材の種類	表 乾 比 重	吸 水 率 (%)	有 効 吸 水 率 (%)	粗 粒 率	
粗骨材	鳥取県東部	2.70	0.45	0.20	—
	鳥取県西部	2.80	2.50	1.61	—
細骨材(川砂)	2.59	2.67	1.64	2.75	

(注) 鳥取県東部と西部の吸水率が第1表の値と異なるのは、有効吸水率の測定の際、再度吸水率試験を仕直したことによる。

有効吸水率 = (表面飽和乾燥状態) - (気乾状態)

扱ったため、より細かい粒径を多く含む鳥取県東部の試料の損失重量が多くなったものと考えられた。

そこで、鳥取県東部の試料の耐久性が疑問視されたので、平成3年度には鳥取県の2試料(西部試料は比較用)について、耐凍結融解性を検討した。

実験に用いた配合とコンクリート供試体の作製

鳥取県の2試料を粗骨材とするコンクリートを作製するため、物理試験で得られた結果に基づいて示方配合を設計した。ただし、設計には有効吸水率が必要となるため、改めて吸水率試験を行った。その結果を、実験に用いた川砂(鳥取県千代川産)を含め第2表に示す。

配合の設計条件としては、普通のコンクリート構造物に使われる水セメント比 $W/C = 55\%$ 、スランブ12cmを基準にした。第3表には示方配合を示す。試し練りおよびスランブの調整は、前記の理由から実施せず、得られたスランブのコンクリートを直ちに型枠に打設した。

コンクリートの作製の手順は、材料を容量50ℓの強制練りミキサに投入し75秒間空練りし、練混ぜ水を加えた後150秒間混練りした。コンクリートを練板上に排出した後、2往復手練りをし、スランブ測定と同時に、ローリング法による空気量測定用の試料作製とコンクリートの型枠への打設を行った。

第4表には、各配合の測定したスランブ値と空気量を

示す。プレーンコンクリートの場合、配合設計計算の際に仮定する砕石使用による細骨材率と水量の調整が難しく、骨材量の制約から試し練りをしていないため、スランブは設計値外であったが、得られたコンクリートをそのまま採用することにした。AEコンクリートのスランブは、プレーンコンクリートでの経験を生かして配合設計ができたため、ほぼ設計値に近いものが得られた。ただし、空気量は、AE剤を添加しても、砕石が元々粒径に偏りのある不連続粒度であるため、空気連行性が非常に不安定で、目標値は得られなかった。

凍結融解試験について

材令14日まで恒温水槽内(20±3℃)で標準養生した各配合8本のコンクリート供試体の重量、体積、密度(実際は単位体積重量であるがここでは密度と表現し以下使用する)、動弾性係数、超音波伝播速度を凍結融解試験開始前に測定し、これらの値を凍結融解試験の初期値とした。8本の供試体の内、5本を凍結融解試験に供し、3本を引き続いて恒温水槽内で標準養生した。ただし、プレーンコンクリートは、試験機の故障のため、凍結融解試験は、材令18日より開始した。

本実験に使用した凍結融解試験機は、空中凍結・水中融解方式で、凍結・融解1サイクル(回)に約90分かかるもので、JISの試験方法(案)²⁾と、この2点で異なるが、

第3表 示方配合

配合名	最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kgf/m ³)				
						水	セメント	細骨材	粗骨材	AE剤
東部プレーン	25	12±2	1.5	55	44.75	196	357	785	1008	—
西部プレーン	25	12±2	1.5	55	44.75	196	357	785	1045	—
東部 AE 1	25	12±2	5.0	55	40.75	175	319	712	1078	0.096
西部 AE 1	25	12±2	5.0	55	40.75	175	319	712	1118	0.096
東部 AE 2	25	12±2	5.0	55	39.75	171	311	702	1107	0.093
西部 AE 2	25	12±2	5.0	55	39.75	171	311	702	1148	0.093

第4表 スランブおよび空気量の測定値

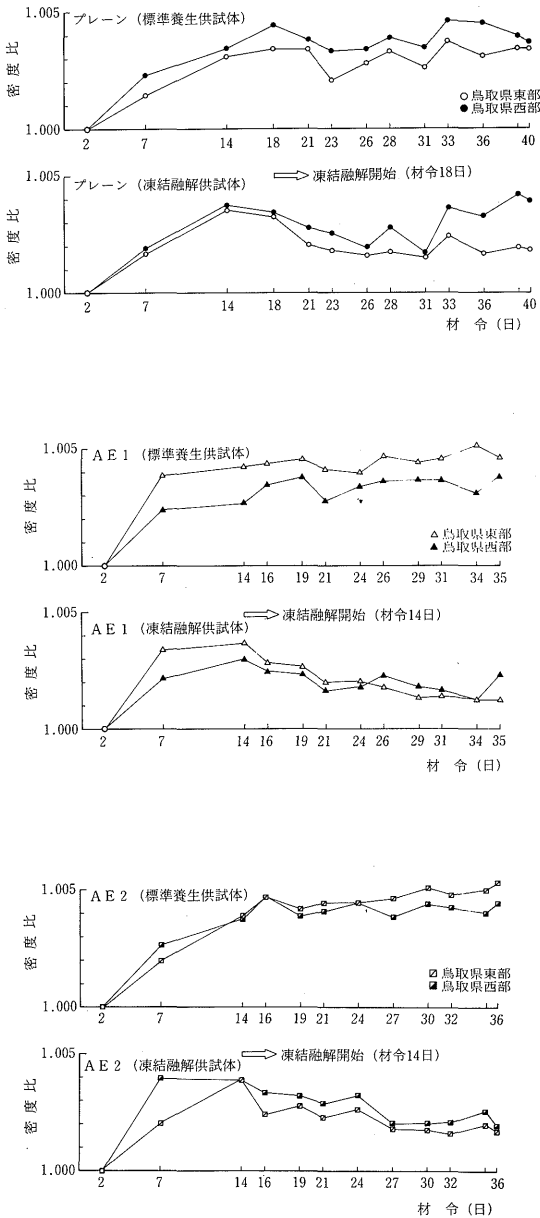
種類	測定スランブ (cm)			測定空気量 (%) *		
	プレーン	AE 1	AE 2	プレーン	AE 1	AE 2
鳥取県東部	22.0	12.8	16.3	1.94	4.01	2.89
鳥取県西部	22.0	9.0	7.8	1.64	2.35	4.52

(注) * : ローリング法による測定空気量である。

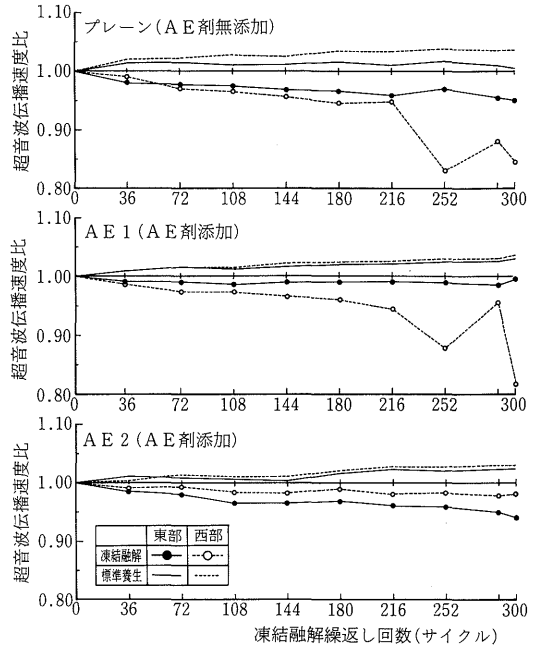
下記に示す他の実験条件は、できるだけJISの規準に準拠するよう心掛けた。

① 凍結融解36サイクルごとに諸項目を測定する。

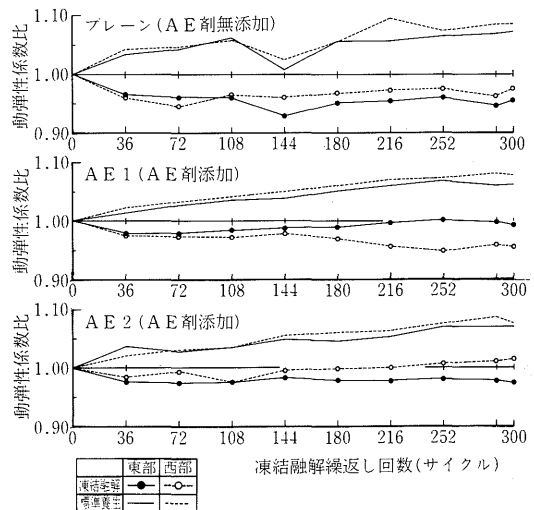
② 凍結融解300サイクルで試験を終了する。
③ 相対動弾性係数が凍結融解300サイクル以前に初期値の60%以下になった段階で試験を終了する。



第1図 凍結融解作用による密度比の経日変化 (材令2日の値で規準化)



第2図 凍結融解作用による超音波伝播速度の変化 (材令14日または18日の値で規準化)



第3図 凍結融解作用による動弾性係数の変化 (材令14日または18日の値で規準化)

凍結融解試験終了後に曲げ・圧縮強度試験を実施した。

結果と考察

以下に示す各図において、各測定値は、初期値（密度は材令2日の値、動弾性係数および超音波伝播速度は材令14日または18日の値）で除して規準化してある。

第1図には、各配合のコンクリートの密度比の経日変化を示す。この図で分かるように、標準養生供試体は、順調に密度が増大しているのに対し、凍結融解試験供試体は、試験開始後、密度比はほとんど増加せず低下の傾向を示している。これは、凍結融解を繰り返し受けることにより、モルタルと骨材間の境界に若干の緩みが発生するため、標準供試体に比べ、密度比の伸びが低下するものと考えられる。ただし、この密度比の伸びの低下は、AE剤の添加により改善はされないようだ。

第2図には、凍結融解作用による超音波伝播速度比の変化を示す。この場合、AE剤添加によって、凍結融解による超音波伝播速度の低下が改善されることが分かる。

第3図には、動弾性係数比の変化を示す。超音波伝播速度の場合と同じようにAE剤添加の効果ははっきりしているが、凍結融解試験機に搬入した供試体の動弾性係数が初期値よりも実験終了時には増加しているものがあるという、実際にはあつてはならない結果が得られている。この原因は測定ミスと考えられるが、一部だけ初期値より大きくなっているのではなく、ゆっくりと回復していることを考えると、一概に測定ミスだけに原因を押し付けるわけにはいかない。いずれにしても、AE剤添加の効果は明白である。

第5表には、継続して恒温水槽内で標準養生してきた供試体の曲げ・圧縮強度、動弾性係数、超音波伝播速度に対する凍結融解試験後の供試体のそれらとの比を示してある。参考のため、動弾性係数から求める耐久性指数DFと超音波伝播速度の初期値に対する減少割合を示した速度指数VIも付記してある。

この表から分かるように、空気量の少ないコンクリートは、凍結融解作用を受けることによる諸強度の低下が目立つ。ただし、AE剤を添加すれば、結果的には進行空気量が少なくなっても、強度比とか係数比、速度比、DFおよびVIからみた耐凍結融解性は高くなること分かる。一方、同じ空気量でもAE剤を添加しないプレーンは、気泡の粒径とか気泡間隔も均一でないため、耐凍結融解性はAEコンクリートよりも低い。

耐凍結融解性の評価は、通常、ASTM C-666¹⁾の耐久性指数DFに基づいて、第6表の基準²⁾を使って行われる。

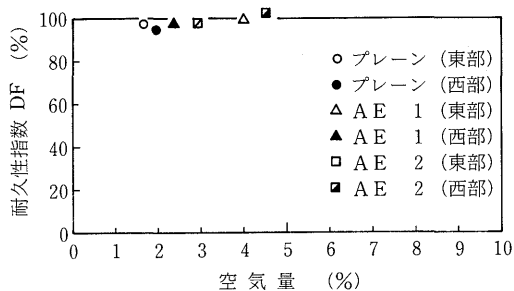
第5表 耐凍結融解性に関する強度比、動弾性係数比および超音波伝播速度比

配合名	空気量 (%)		曲げ強度 (kgf/cm ²)		圧縮強度 (kgf/cm ²)		動弾性係数 (GPa)		超音波伝播速度 (m/sec)		VI				
	凍結	標準	凍結	標準	凍結	標準	凍結	標準	凍結	標準					
東部プレーン	1.94	39.90	48.78	81.80	334.7	357.0	93.75	33.97	37.49	90.61	95.48	4350	4567	95.25	95.12
西部プレーン	1.64	42.76	57.89	73.86	298.3	349.1	85.45	30.00	33.51	89.53	97.69	3526	4233	83.98	84.48
東部AE1	4.01	42.18	47.28	89.21	278.1	317.5	87.59	33.97	34.98	97.11	99.52	4443	4567	97.28	99.45
西部AE1	2.35	44.55	50.76	87.77	305.0	380.5	80.16	30.60	33.90	90.27	97.50	3446	4366	78.93	81.77
東部AE2	2.89	44.73	51.97	86.07	338.9	347.3	97.59	35.50	38.72	91.68	98.28	4330	4705	92.03	94.09
西部AE2	4.52	44.86	51.98	86.30	305.8	356.1	85.87	31.44	32.92	95.50	101.98	4094	4288	95.48	98.10

(注) 凍結融解試験された5本の供試体の曲げ・圧縮強度、動弾性係数および超音波伝播速度の平均値
 標準：恒温水槽で水中養生された3本の供試体の曲げ・圧縮強度、動弾性係数および超音波伝播速度均の平均値
 DF (%)：耐久性指数で、凍結融解試験開始材齢14日の値に対する割合を意味する。
 VI (%)：超音波伝播速度指数(略して速度指数)で、凍結融解試験開始材齢14日の値に対する割合を意味する。
 強度比、係数比および速度比：(凍結) / (標準) × 100 (%) を意味する。

第6表 耐久性指数DFの判断基準⁹⁾

DF (%) の範囲	耐凍結融解性の判定
DF < 20	耐凍性が低い
20 < DF < 80	普通の耐凍性 (遷移領域)
80 < DF	卓越した耐凍性



第4図 耐久性指数DFによる耐凍結融解性の評価

第4図は、第5表のDFを図に表したものである。曲げ・圧縮強度比も凍結融解による劣化程度を表わすことができる。ただし、これら強度比は、凍結融解作用で発生する表面凹凸の影響を受けるので、内部的な劣化の程度を判定するには適用が難しい。

それに対し、超音波伝播速度に基づく速度比とか速度指数VIは、動弾性係数に基づく耐久性指数DFとも相関性が高く、空気量の多寡の影響も十分反映していることが分かる。これは、超音波伝播速度も、密度のようなコンクリート内部の状態との関係が深く動弾性係数と同じように耐凍結融解性の評価に十分適用できることが分かる。第4図から分かるように、本実験で問題視していた鳥取県東部の砕石は、コンクリート用骨材として何ら問題なく使用できるといえる。

総 括

硫酸ナトリウムによる安定性試験で損失重量が限度値(粗骨材12%以下)を越え、その耐久性が当初懸念された鳥取県東部の砕石の凍結融解試験の結果は、何ら問題のないことが分かった。損失重量が限度値を越えた原因

は、鳥取県東部の砕石が、粒径範囲の一部分の粒径しかなく、それも最大寸法が10mm程度と、他の砕石と比べてもかなり細粒部分が多かったためである。

また、耐凍結融解性を評価するのに、動弾性係数による耐久性指数だけでなく、超音波伝播速度も有効な手段であることが分かった。

謝 辞

最後に、中国五県で現在使用されているコンクリート用粗骨材を入手するに当たり、各県の耕地課関係各位の御協力を戴いた。ここに衷心より厚く御礼申し上げます。また、本実験を遂行するに当たり、多大の協力を頂いた平成3年度当研究室専攻生である上田 学、川上昭彦、出羽正宜、豊田恵正、中西優子、中山拓自、新田康二、三宅由起の諸君に深甚なる謝意を表する。

《引用文献》

- 1) ASTM C-666: *Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing*.
- 2) 土木学会コンクリート委員会: 土木学会規準 (昭和61年版). 土木学会, 東京 (1986) pp. 252-255
- 3) 服部九二雄・柘植巳一: マサ土を細骨材として利用したコンクリートの特徴—低品質骨材の有効利用に関する研究 (I) —. 農土論集, 114 25-32 (1989)
- 4) 服部九二雄・柘植巳一: 低品質骨材を用いたコンクリートの特徴 III. コンクリートの耐凍結融解性. 鳥大農研報, 43, 65-71 (1990)
- 5) 國武昌人: 農業土木事業における低品質骨材の利用開発に関する研究. 平成3年度科学研究費補助金・研究成果報告書, pp. 40-45 (1992)
- 6) 柘植巳一・服部九二雄: 低品質骨材を用いたコンクリートの特徴 I. マサを細骨材として利用した場合. 鳥大農研報, 37, 102-110 (1985)
- 7) 柘植巳一・服部九二雄: 低品質骨材を用いたコンクリートの特徴 II. AE剤混入の効果. 鳥大農研報, 39, 85-91 (1986)
- 8) William A. Cordon: *Freezing and Thawing of Concrete, — Mechanism and Control —*. ACI Monograph No. 3(1967), pp.68-69