

道路舗装コンクリート破碎骨材を使用した 再生骨材コンクリートの諸性質†

川村 満 紀* 鳥居 和 之**
竹本 邦 夫*** 榑場 重 正****

Properties of Recycling Concrete Made with Aggregates Obtained from Demolished Concrete Pavement

by

Mitsunori KAWAMURA

(Applied Research Center of Composite Materials, Kanazawa University, Kanazawa)

Kazuyuki TORII

(Faculty of Engineering, Kanazawa University, Kanazawa)

Kunio TAKEMOTO

(Applied Research Center of Composite Materials, Kanazawa University, Kanazawa)

and Shigemasa HASABA

(Faculty of Engineering, Kanazawa University, Kanazawa)

The amount of waste concrete from demolished old buildings and pavements has increased in the last 10 years. This has brought about the disposal waste concrete problem in urban areas. Such waste concrete is hard to deal with properly and thus, it is important to recycle it as an aggregate for concrete from the view points of shortage of aggregate from river, energy and resources saving as well as environmental preservation.

The objective of this paper was to investigate the compressive, tensile and flexural strengths, drying shrinkage and durability against freezing and thawing cycles of the recycling concretes with the aggregates obtained by crushing old concrete buildings and concrete pavements. The main results obtained in this study are summarized as follows.

(1) The physical properties of the aggregate produced from a concrete pavement are more favorable as an aggregate for concrete than those from a demolished concrete building.

(2) The compressive, tensile and flexural strengths of the recycling concrete from a concrete pavement are greater than those of the recycling concrete from a concrete building.

(3) The drying shrinkage of the recycling concrete is greater than the natural aggregate concrete. The recycling concrete made with the aggregate from a concrete building shows a greater shrinkage than that made with the aggregate from a concrete pavement.

(4) The resistance of the recycling concrete from a concrete pavement against freezing and thawing cycles is better than that of the recycling concrete from a concrete building. The resistance of the recycling concrete made with a concrete pavement is increased by adding an AE admixture, being somewhat inferior to that of the natural aggregate concrete.

(Received Jun 23, 1982)

キー・ワード：再生骨材コンクリート，乾燥収縮，耐久性

1 ま え が き

建設工事において発生するコンクリート廃材の量は

膨大であり，その発生量はこの10年間に急速に増加している．一方，都市域においては環境保全等の理由により良質な天然骨材の入手および建設廃材の廃棄場所の確保が次第に困難になっているのが実状である．このため，コンクリート廃材をクラッシャーにより破碎して，コンクリート用骨材として再利用できれば，環

† 原稿受理 昭和57年6月23日

* 正 会 員 金沢大学複合材料応用研究センター 金沢市小立野

** 金沢大学工学部 金沢市小立野

*** 金沢大学複合材料応用研究センター 金沢市小立野

**** 正 会 員 金沢大学工学部 金沢市小立野

環境保全とともに省資源および省エネルギーの立場からも意義深いものであると思われる。

建築コンクリート破砕骨材を対象とした再生骨材コンクリートに関しては、建築コンクリートへの適用を目的としてこれまでも多くの報告がみられる^{1)~3)}。一方、道路舗装コンクリート破砕骨材を対象とした再生骨材コンクリートに関しては、我が国では二、三の報告があるだけで比較的少いようである。しかし、アメリカでは戦後建設された高速道路の多くが耐用年数に近づいていることから、舗装コンクリート破砕骨材を舗装コンクリートに再利用する研究およびその実用化プラントの作製に関する研究が活発に行われている⁴⁾⁵⁾。

コンクリート破砕骨材は原コンクリートの骨材表面にセメントペーストおよびモルタルが付着した状態で供給されるため、コンクリート破砕骨材の物理的諸性質およびコンクリート破砕骨材を使用した再生骨材コンクリートの諸性質は、原コンクリートの骨材表面に付着したセメントペーストおよびモルタルの量およびそれらの性質によって大きく影響される。したがって、良質の骨材が使用され、低い水・セメント比で作製されている道路舗装コンクリート塊より得られた道路舗装コンクリート破砕骨材は、通常の建築コンクリート破砕骨材と比較して強度および耐久性の点で優れていることが予想される。

本研究は道路舗装コンクリート破砕骨材の舗装等の土木用コンクリートへの適用性を検討することを目的としており、道路舗装コンクリート破砕骨材のコンクリート用骨材としての諸性質を建築コンクリート破砕骨材および天然骨材（川砂および碎石）と比較検討するとともに、これらコンクリート破砕骨材を使用した再生骨材コンクリートの圧縮、引張および曲げの各強度特性、乾燥収縮特性および凍結融解作用に対する耐久性について実験的検討を加えたものである。

2 実験概要

Table II. Physical properties of the recycled and natural aggregates.

	Fine aggregate			Coarse aggregate		
	River sand	Recycled aggregate 1 (pav)	Recycled aggregate 2 (bui)	Crushed gravel	Recycled aggregate 1 (pav)	Recycled aggregate 2 (bui)
Specific gravity	2.58	2.38	2.31	2.60	2.45	2.42
Absorption capacity(%)	2.4	7.8	10.9	2.1	5.4	5.9
Unit weight (kg/l)	1.600	1.412	1.246	1.550	1.395	1.268
Abrasion loss (%)	—	—	—	15.2	24.5	29.5
Durability (%)	—	14.3	13.1	5.8	31.1	42.6
Crushing value (%)	—	—	—	14.7	24.4	29.2
Finess modulus (%)	2.96	4.06	3.23	6.79	6.92	6.94
Amount of adhered mortar (%)	—	—	—	—	35.7	59.0
Maximum size (mm)	5	5	5	25	25	25

2・1 使用材料

本研究に使用した道路舗装コンクリート破砕骨材 (C_{G1}) および建築コンクリート破砕骨材 (C_{G2}) は、それぞれ道路舗装の解体時に得られたコンクリート塊 ($15 \times 15 \times 15$ cm の立方体供試体による材令1年における圧縮強度: 427 kg/cm^2 , その配合は Table I に示す) および低層建築構造物の解体時に得られた壁体コンクリート塊 (圧縮強度および配合不明, 不純物としてプラスター等の壁材を一部含む) を骨材最大寸法が 25 mm 程度となるようにジョークラッシャーの開き目を調整し、破砕したものである。

Table I. Mix proportion of original pavement concrete.

Unit content (kg/m ³)				AE water-reducing agent	Water-cement ratio
W	C	S	G		
145	338	648	1 206	0.2%	43%

天然骨材としては手取川産の川砂 (N_S) および碎石 (N_G) を使用した。使用した各種骨材の物理的諸性質は Table II に示すとおりである。使用したセメントは普通ポルトランドセメント (N社) であり、混和剤は市販の AE 剤 (Y社) を使用した。

2・2 コンクリートの配合

コンクリートの種類は普通コンクリートおよび AE コンクリートの 2 種類であり、各コンクリートにおける細骨材-粗骨材の組合せは川砂 (N_S)-碎石 (N_G)、川砂 (N_S)-再生粗骨材 (C_G) および再生細骨材 (C_S)-再生粗骨材 (C_G) の 3 種類である。本研究における再生骨材コンクリートは舗装用コンクリートおよび一般土木用コンクリートへの適用を目的としたので、それぞれ目標スランプ 2 cm, 水・セメント比 45% および目標スランプ 8 cm, 水・セメント比 55% となるように、試験練りによって配合を決定した。また、再生骨

Table III. Mix proportions of the concretes made with the recycled and natural aggregates.

	Slump (cm)	W/C (%)	Combination of aggregates	Unit content (kg/m ³)				Slump (cm)	Air (%)
				C	W	S	G		
Ordinary concrete	2	45	NS-NG	322	145	775	1 152	2.0	1.0
			NS-CG1 (pav)	338	152	742	1 068	1.5	1.3
			NS-CG2 (bui)	338	152	742	1 055	2.0	0.7
	8	55	NS-NG	318	175	817	1 014	7.0	1.1
			NS-CG1 (pav)	334	184	801	936	7.0	1.3
			NS-CG2 (bui)	328	180	806	934	9.0	0.9
AE concrete	2	45	NS-NG	278	125	755	1 149	2.5	2.5
			NS-CG1 (pav)	297	134	740	1 061	1.5	2.5
			CS1-CG1 (pav)	345	155	652	1 007	2.5	2.7
			NS-CG2 (bui)	291	131	745	1 055	1.5	3.5
	8	55	NS-NG	282	155	812	1 009	7.0	4.2
			NS-CG1 (pav)	302	164	794	926	7.0	4.9
			CS1-CG1 (pav)	334	184	707	889	6.5	3.5
			NS-CG2 (bui)	296	163	799	922	7.0	4.4

材の使用によるワーカビリティの低下を改善するために、細骨材率は目標スランプ 2 cm および 8 cm に対して、それぞれ40%および45%とした。再生および天然骨材を用いた普通および AE コンクリートの配合は Table III に示すとおりである。

2・3 試験方法

(1) 圧縮、引張および曲げ強度試験

圧縮および引張強度用供試体は、直径 10 cm、高さ 20 cm の円柱体である。曲げ強度用供試体は 10×10×40 cm の角柱であり、3 等分点載荷により曲げ強度を求めた。

(2) 乾燥収縮試験

供試体は 10×10×40 cm の角柱であり、脱型後材令 7 日まで水中養生を行った後、恒温恒湿室内（温度：20℃、相対湿度：57±3%）において JIS A 1129（コンパレータ法）により供試体の長さ変化および重量変化を測定した。

(3) 凍結融解試験

供試体は 10×10×40 cm の角柱であり、脱型後材令 14 日まで水中養生を行った後、ASTMC 666-75（A 法）に従って凍結融解試験を実施した。さらに、骨材自身の凍結融解に対する抵抗性を比較するために、15～20 mm および 2.5～5 mm に粒度調整した再生骨材および天然骨材に 30 および 50 サイクルの凍結融解の繰返しをあたえた後、ふるい分け試験を行い、15～20 mm の骨材では 10 mm 以下、2.5～5 mm の骨材では 1.2 mm 以下の損失重量百分率を求めた。

3 実験結果および考察

3・1 再生骨材の物理的諸性質

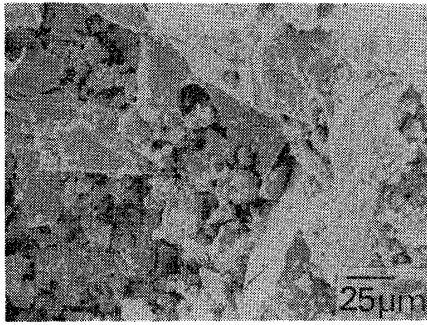
道路舗装および建築コンクリート破碎骨材の比重および吸水率は天然骨材と比較して劣っており、この傾向は粗骨材よりも細骨材において顕著である。また、

すりへり減量、安定性試験および B. S. 破碎値の結果が示すように、コンクリート破碎骨材は骨材の強度および耐久性も天然骨材と比較して劣っている。しかし、道路舗装コンクリート破碎骨材の物理的諸性質は、建築コンクリート破碎骨材と比較した場合にはすべての性質において優れている (Table II)。

このように道路舗装コンクリート破碎骨材の品質が比較的良好なのは、道路舗装コンクリート破碎骨材には建築コンクリート破碎骨材にみられるプラスターのような不純物が含まれていないこと、および道路舗装コンクリート破碎骨材の付着モルタル量（5w%の塩酸溶液に繰返し浸漬し、セメントペーストを溶解させることによって求めた重量百分率）は36%であり、建築コンクリート破碎骨材の59%と比較して少ないことなどの理由によるものである。

さらに、コンクリート破碎骨材にはクラッシャーによって破碎した際に付着モルタル部に微細なクラックが多数生じており、これが強度および耐久性に大きな欠陥となっている可能性がある。SEM による付着モルタル部の観察および水銀圧入式ポソメータによる細孔径分布の測定により、道路舗装コンクリート破碎骨材は建築コンクリート破碎骨材と比較して付着モルタル部のクラックおよび空げきの量が少く、付着モルタルが耐久的事であることが認められた (Fig. 1 および Fig. 2)。

また、道路舗装および建築コンクリート破碎骨材の粒子形状は全体的にかなり角ばっているが、粒度分布に関してはいずれのコンクリート破碎骨材も土木学会の示す範囲を大体満足している (Fig. 3)。したがって、道路舗装および建築コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートでは、粒子形状が悪いために天然骨材を用いたコンクリートよりも 4～7%程度単位水量を増加



(a) Recycled aggregate (pavement)



(b) Recycled aggregate (building)

Fig. 1. SEM micrograph of the recycled aggregates (a): the recycled aggregate from a pavement concrete, (b): the recycled aggregate from a building concrete).

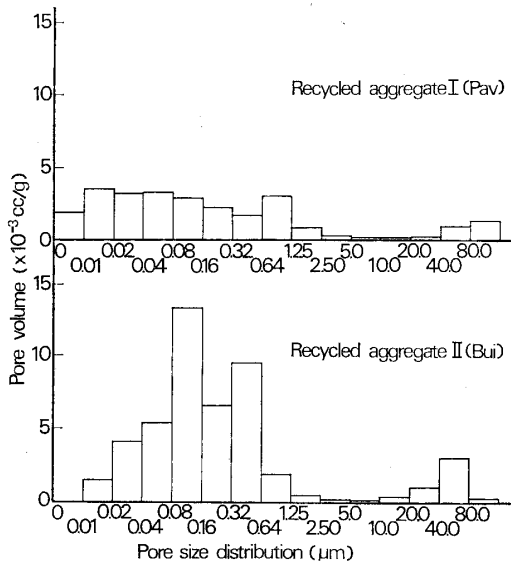


Fig. 2. Pore size distribution of the recycled aggregates.

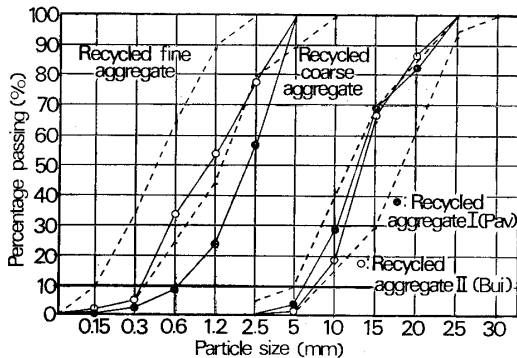


Fig. 3. Grading curves of the recycled aggregates.

する必要があるが、両コンクリート破砕骨材間では単位水量には明確な差異が認められない。

3・2 再生骨材コンクリートの強度特性

再生骨材を用いたコンクリートの圧縮および引張強度の低下はほぼ同程度であり、普通コンクリートにおいては川砂および砕石を用いたコンクリートと比較して道路舗装コンクリート破砕骨材を用いたコンクリートでは5~10%、建築コンクリート破砕骨材を用いたコンクリートでは10~20%の圧縮および引張強度の低下が認められる。一方、AE 剤を使用した再生骨材コンクリートの圧縮および引張強度の低下は普通コンクリートの場合よりも小さく、道路舗装コンクリート破砕骨材を用いた場合には川砂および砕石を用いたコンクリートと比較して圧縮および引張強度の低下がほとんど認められない (Fig.4 および Fig.5)。さらに、弾性係数についても圧縮および引張強度と同様の傾向

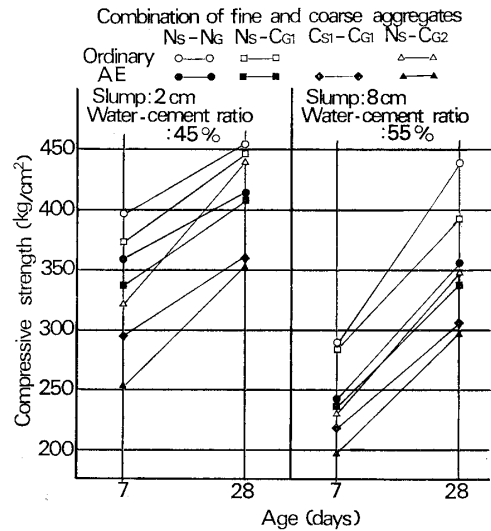


Fig. 4. Compressive strength of the concretes made with the recycled and natural aggregates.

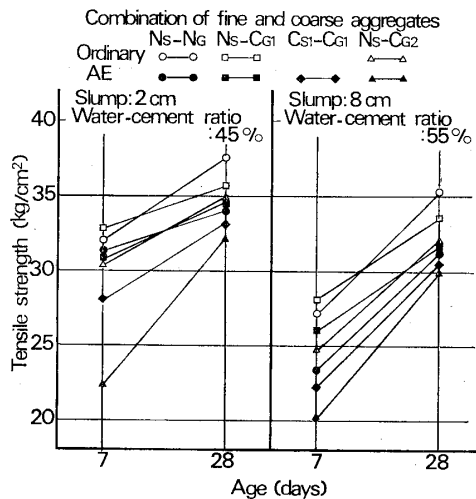


Fig. 5. Tensile strength of the concretes made with recycled and natural aggregates.

を示し、道路舗装コンクリート破碎骨材を用いた場合には川砂および碎石を用いた場合と比較して弾性係数の低下がほとんどみられないのに対し、建築コンクリート破碎骨材を用いた場合には5~15%の弾性係数の低下がみられた。

また、再生骨材を用いたコンクリートの曲げ強度については、建築コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートでは圧縮および引張強度と同様に10%程度の低下を示すが、道路舗装コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートは川砂および碎石を用いたコンクリートよりも多少大きな曲げ強度を示す (Fig. 6)。

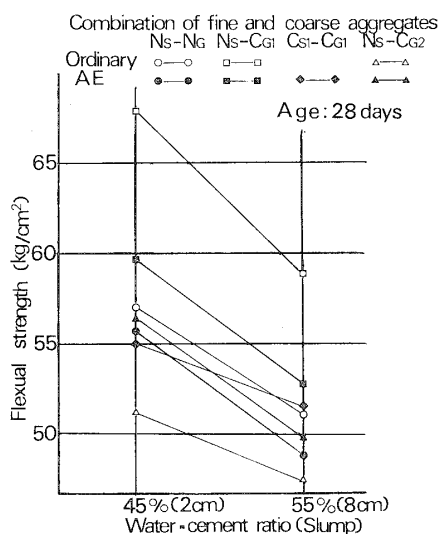


Fig. 6. Flexural strength of the concretes made with the recycled and natural aggregates.

建築コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートでは骨材自体の強度が低いために引張および曲げ強度試験において骨材自身の破壊および原骨材と付着モルタルのはく離が顕著であったが、道路舗装コンクリートではそのような現象はあまりみられなかった。

以上の結果より、道路舗装コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートの強度特性は建築コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートよりも良好であり、天然骨材を用いたコンクリートと同程度の強度を示すことが明らかになった。

3・3 再生骨材コンクリートの乾燥収縮

道路舗装および建築コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮は天然骨材を用いたコンクリートと比較して5~15%程度増加する。細骨材として川砂を用いた場合には全体として碎石<道路舗装コンクリート破碎骨材<建築コンクリート破碎骨材の順に乾燥収縮量が増加する傾向を示し、特に細・粗骨材ともに再生骨材を用いた場合には著しく収縮量が増大する (Fig. 7 および Fig. 8)。

再生骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮量が天然

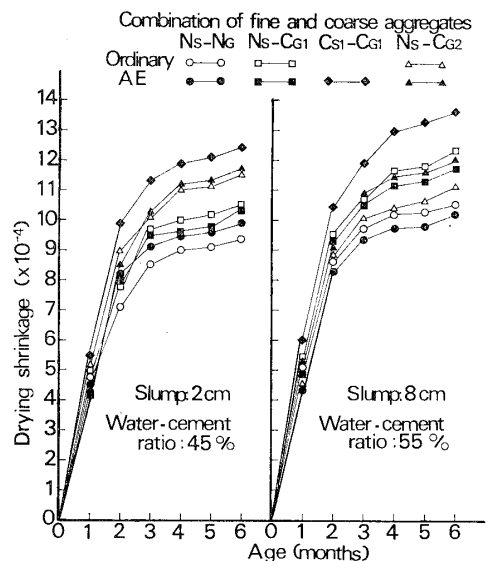


Fig. 7. Drying shrinkage of the concretes made with the recycled and natural aggregates.

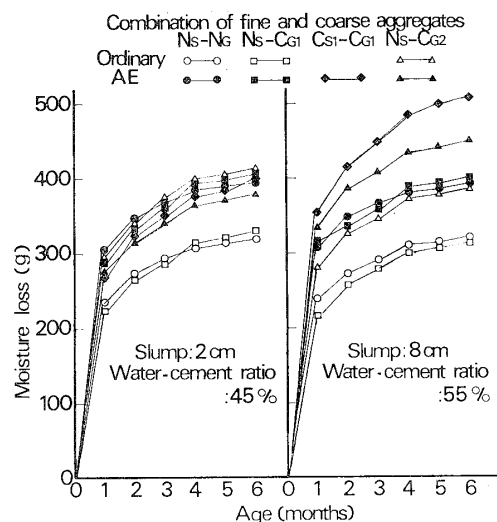


Fig. 8. Moisture loss of the concretes made with the recycled and natural aggregates.

骨材を用いたコンクリートと比較して増加するのは、再生骨材の弾性係数が比較的小さいことおよび再生骨材コンクリートでは骨材の粒形が悪いために同一スランプを得るのに必要な単位水量が増加することによるものである。また、道路舗装コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートでは、同一スランプを得るのに必要な単位水量は建築コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートと同程度であるが、骨材自身の弾性係数が比較的大きいために建築コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートよりも乾燥収縮は若干小さくなるようである。

3・4 再生骨材コンクリートの凍結融解に対する抵抗性

再生骨材および天然骨材を用いた普通コンクリートは、すべて100サイクルまでに崩壊した。一方、再生

骨材および天然骨材を用いた AE コンクリートでは、各骨材の組合せにより凍結融解に対する抵抗性の相違が認められる。道路舗装コンクリート破砕骨材を用いた AE コンクリートの凍結融解に対する抵抗性は、天然骨材を用いたものと同程度か、若干低下する程度であるのに対して、建築コンクリート破砕骨材を用いた AE コンクリートの凍結融解に対する抵抗性は両者と比較して明らかに劣っており、特に初期の50サイクルまでにおける相対動弾性係数の低下が顕著である (Fig.9 および 10)。

再生骨材および天然骨材を用いたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性の相違は、骨材自身の耐久性と

密接な関係があると考えられるので、凍結融解の繰返しによる骨材自身の重要損失率により天然および再生骨材の耐久性の評価を行った。

Table IV は凍結融解の繰返しによる再生および天然骨材の重量損失率を示したものである。再生骨材は凍結融解の繰返しにより原コンクリートの骨材に付着したモルタル部分がぜい弱化し、はく離するために、天然骨材と比較して道路舗装および建築コンクリート破砕骨材のいずれも大きな重量損失率を示す。しかし、道路舗装コンクリート破砕骨材の凍結融解による重量損失率は建築コンクリート破砕骨材よりも小さい。

Table IV. Weight loss of the recycled and natural aggregates subjected to freezing and thawing cycles.

	Freezing and thawing cycles	Freezing and thawing cycles	
		30	50
Natural aggregate	2.5- 5 mm	2.2	2.9
	15-20 mm	2.1	2.9
Recycled aggregate 1 (pav)	2.5- 5 mm	20.4	29.0
	15-20 mm	9.1	19.7
Recycled aggregate 2 (bui)	2.5- 5 mm	22.2	33.6
	15-20 mm	17.6	30.0

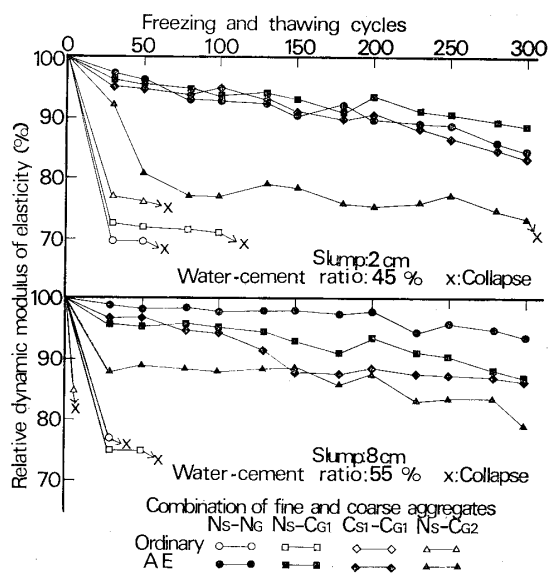


Fig. 9. Resistance of the concretes made with the recycled and natural aggregates against freezing and thawing cycles.

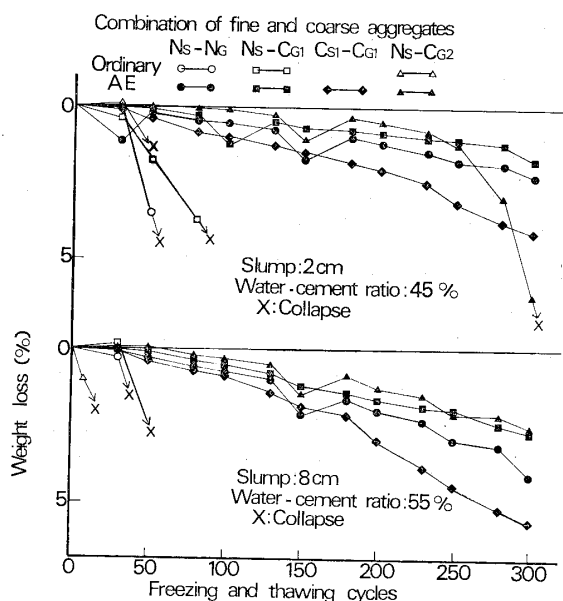


Fig. 10. Weight loss of the concretes made with the recycled and natural aggregates against freezing and thawing cycles.

さらに、建築コンクリート破砕骨材を用いたコンクリートでは、原コンクリートの骨材に付着したモルタル部分とともに不純物として含まれているプaster等の壁材が凍結融解の抵抗性において大きな欠陥となっていることが確認された。

以上の結果より、道路舗装コンクリート破砕骨材を用いたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性は建築コンクリート破砕骨材を用いたコンクリートと比較して良好であることがわかる。しかし、凍結融解に対する抵抗性をさらに向上させるためには、マイクロクラック等の潜在的欠陥を有する再生骨材の付着モルタル部分をなるべく少なくするような方策を講ずる必要があるものと思われる。

4 結 論

道路舗装および建築コンクリート破砕骨材を用いたコンクリートの強度特性、乾燥収縮および耐久性について行った一連の実験より得られた結果をまとめると次のようである。

(1) 道路舗装コンクリート破砕骨材は建築コンクリート破砕骨材と比較して付着モルタルの量が少く、また付着モルタルの性状も良好なため、建築コンクリート破砕骨材よりもコンクリート用骨材としての物理的諸性質が優れている。

(2) 道路舗装コンクリート破砕骨材を用いたコンク

リートの圧縮, 引張および曲げ強度は建築コンクリート破碎骨材よりも良好であり, 天然骨材を用いたコンクリートと同程度の強度を示す。

(3) 道路舗装および建築コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮は天然骨材を用いたコンクリートと比較して全般的に大きく, 天然骨材<道路舗装コンクリート破碎骨材<建築コンクリート破碎骨材の順に収縮量が大きい。

(4) 道路舗装コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性は建築コンクリート破碎骨材を用いたコンクリートより良好であり, 良質なAEコンクリートとした場合には天然骨材を用いたコンクリートと同程度の抵抗性を示す。

本研究を行うにあたり, ご助言およびご助力を頂い

た金沢大学松野三朗教授並びに実験等においてご協力を頂いた本学院生山村徹氏に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 笠井芳夫, セメント・コンクリート, 347, p.20 (1976).
- 2) 笠井芳夫, セメント・コンクリート, 348, p.16 (1976).
- 3) 建設廃棄物処理再利用委員会, コンクリート工学, 16, 7, p.42 (1978).
- 4) H. J. Halm, Transportation Research News, 89, p.6 (1980).
- 5) W. A. Yrjanson, Proc. 2th Int. Conf. Concrete Pavement Design, p.431 (1981).
- 6) 柳場重正, 第3回コンクリート工学講演論文集, p.89 (1981).

書 評

“木 材 の 事 典”

浅野猪久夫(編)

(1982年, (株)朝倉書店発刊, A5版, 456ページ, 9500円)

木材は古くからわれわれの生活に広く深いかわりをもちながら, 近年にいたるまでその基礎となる学問的体系立てがおくれ, 一般にはよく知られているようでありながら知られないところの多い材料である。このためにしばしば不当な評価をうけ乱用を招き, ひいては森林の崩壊や緑の喪失につながる重大事をひきおこしているといえる。このようなときに, 「木材科学の基盤にたった, 木材の利用から関連産業の全般にわたる平易な専門解説書」をという願いに合致するのが本書であり, その発刊をみたことはまことに時宜を得たものである。しかも, 編者の序文に「事典と称しながら項目別の配列によらず総合的な解説形式をとった」とあるが, その補完が期待されるものであっても巻末にあげた主要用語の索引と計約600の各章末の参考文献との援用によって, 本書は事典としての便利さと学術書としての高い価値を併せもっているといえる。

本書は15章からなり, その内容を次のように類別できる。第1章から第6章の森林と木材資源, 主要木材の種類と特徴, 木材の構造, 化学組成, 物理的性質, 機械的性質が木材科学の概要, 第7章から第11章の木材の乾燥, 機械加工, 保存, 改質, 接着と塗装が木材の加工利用の基礎科学であり, 第12章から第15章の製材品と木質材料, パルプおよび紙, 木造住宅, その他の木材利用が木材関連産業への応用科学である。そしてこれらの内容を系統立てて35名の第一線の研究者によって分担執筆されている。

解説には確かな基礎を盛りこんで応用面に重点をおき, 各分野の学術的, 技術的成果を集約して簡潔にわかりやすく述べられていることが本書の特長である。このような本書は, 直接木材に関係をもたれる技術者, 研究者, 学生の専門書, 参考書としての内容を有しているばかりでなく, 広く他の分野の材料科学にかかわっておられる技術者, 研究者, また一般の木材利用者にとっても, 木材を理解するうえに便利で有益な書物であり, ここにあえて江湖の皆様方にお薦めする次第である。

(京都大学農学部 中戸莞二)