

# 港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 145      Sept. 1972

港湾工事に用コンクリート材料としての砕石の使用方法について

関                      博  
小野寺 幸夫



運輸省港湾技術研究所



# 港湾工専用コンクリート材料としての砕石の使用方法について

## 目 次

要 旨 .....	3
1. ま え が き .....	3
2. コンクリート用骨材としての砕石の品質 .....	3
2.1 砕石の品質に関する規準 .....	3
2.2 材 質 .....	5
2.3 粒形および粒度 .....	7
2.4 有 害 物 .....	8
3. 砕石コンクリートの性質 .....	8
3.1 まだ固まらないコンクリートの性質 .....	8
(1) 影響因子 .....	8
(2) 単位水量、細骨材および単位粗骨材容積 .....	10
(3) 混和剤の使用 .....	13
3.2 硬化した砕石コンクリートの性質 .....	15
(1) 砕石コンクリートの強度特性 .....	15
(2) 砕石の品質とコンクリートの強度との関係 .....	17
(3) 砕石コンクリートの水密性および耐久性 .....	18
3.3 玉石砕石および河川砂利との混用 .....	19
3.4 混和材の使用 .....	20
4. 砕石コンクリートの配合設計法 .....	21
4.1 配合設計法の分類 .....	21
4.2 単位粗骨材容積方法による場合 .....	21
4.3 細骨材率法による場合 .....	21
5. 砕石コンクリートの施工 .....	22
6. あとがき .....	22
参 考 文 献 .....	23

## Crashed Stone Concrete for Port and Harbour Structures

Hiroshi SEKI\*  
Sachio ONODERA\*\*

### Synopsis

Demand of crashed stone for concrete has become increased because of shortage of river gravel and increase of public works. Some port and harbour construction offices have used crashed stone for whole concrete structures. Though it was considered that crashed stone concrete had such disadvantages as high cost and low plasticity compared to river gravel concrete, those defects have been improved based on technical development of production of crashed stone and circumstance of coarse aggregate at the construction fields.

This paper describes the main problems of crashed stone and crashed stone concrete used for port and harbour structures. Namely, quality of crashed stone, property of crashed stone concrete and method of casting and placing of crashed stone concrete were summarized referring to several codes and research works done by many researchers. In addition, mix proportioning of crashed stone concrete was temporarily proposed.

---

\* Senior Research Engineer, Structures Division

\*\* Ex-Member of Materials Laboratory, Structures Division

# 港湾工事に用コンクリート材料としての砕石の使用方法について

関 博\*  
小野寺 幸 夫\*\*

## 要 旨

河川砂利の枯渇と工事量の増大とから、港湾工事に於いてもコンクリート用粗骨材としての砕石の需要が高まりつつあり、一部の建設局ではすでに全面的に砕石の使用に踏み切っている現状である。従来、砕石コンクリートは、経済性、施工性の点から河川砂利を用いたコンクリートと比較し不利と考えられてきたが、施工現場の骨材事情、骨材の生産体制の整備などによって著しく改善されてきている。

上述のような、港湾工事に於けるコンクリート用粗骨材の現状に鑑み、本報告では、砕石使用上の問題点を検討した。すなわち、既往の試験結果、規準などを参考として、砕石の品質、砕石を使用したコンクリートの性質、施工上の問題点などを取り纏め、さらに、配合設計に関しては暫定的な方法を提示した。

## 1. ま え が き

骨材は、コンクリート中体積の65～80%を占めるものであるから、コンクリートのワーカビリティ、強度、耐久性、水密性などの諸性質に及ぼす影響は極めて大きい。また、その価格がコンクリートの経済性に及ぼす影響も軽視しえないものであることは言うまでもない。

従来、砕石コンクリートは、河川砂利を用いたコンクリートに比べて、経済性と施工性の点で不利と考えられてきたが、河川砂利の枯渇と骨材需要の著しい増大とから、コンクリート用骨材として砕石を用いる必要性が生じ、最近の港湾工事に於いても砕石コンクリートを用いる事例が増えてきているのが現状である。最近の調査研究によれば砕石需要の増大と相まって、経済性の点ではほぼ、河川砂利と同程度となっているといわれ、施工現場によっては砕石の使用がより有利なコンクリート材料として供用されている。施工性についても砕石の生産体制の整備、生産技術の向上、品質の規準化および配合設計の合理化などによって著しく改善することができることが明らかにされている。

骨材として必要な性質の一般的な標準は土木学会、コンクリート標準示方書に示されているが、コンクリート用骨材としての砕石についてはJIS A 5005 “コンクリート用砕石”がある。これらの標準や規定は骨材の性質として圧縮強度、曲げ強度、耐久性、ワーカビリティその他の諸性質が所要のものであるようなコンクリートを経済的に造ることを主眼としている。

骨材は運搬に要する費用の割合が相当大きなものであるから、その需要地に近接した地域に産出する材料を有効的

に利用することが肝要である。従って、現場に近い地域から得られる骨材がコンクリート用骨材として具備すべき条件に適合しないものでも、配合設計上の補正や施工条件の改善などの操作によって経済的に利用されると判断される場合は、その骨材を用いるようにすべき性質のものであるとすることができる。また、骨材の性質についてはコンクリートの性質に及ぼす影響がきわめて複雑であり大きなものであることから、単に骨材試験を実施するだけでなくその骨材を用いたコンクリートについての試験を行なうことによって、事前に適用構造物に要求される経済的なコンクリートを造りうるかどうかの検討を加え、骨材の使用の可否を決定するのが望ましい。

本文では、既往の試験結果、規準などを参考として港湾工事に用として使用する砕石コンクリートの一般的特性、使用に当たっての問題点などを取り纏めたものである。また、4章では、配合設計に関する暫定的な方法を提示してある。本報告が、港湾建設に従事する技術者に何らかの資料となれば幸いである。

## 2. コンクリート用骨材としての砕石の品質

### 2.1 砕石の品質に関する規準

一般構造用コンクリートの骨材として要求される性質は、材質、粒形、粒度および有害物含有率の4種類に大別できるが具体的には次の8項目に代表される。すなわち、

(1) コンクリートの強度および耐久性に悪影響を与えないために、清浄で、シルト、粘土、有機物などの有害量を含有していないこと。

\* 構造部 コンクリート主任研究官

\*\* 前構造部 材料施工研究室

表 一 1 組骨材の品質規格

規格	材				粒	洗い試験	有害物含有量	石質	粒形	備考
	比重	吸水量	安定性	すりへり減量						
JIS A 5005-1965 コンクリート 用砕石	2.5 以上	3%以下	硫酸 ナトリウム 12%以下	ロサンゼルス 試験機 40%以下 原石: ドパル 試験機 7%以下	砕石 5005, 4005 2505, 2005 1505, 8040 6040, 5025 4020	1.0%以下		玄武岩、安山 岩、硬質砂岩 硬質石灰岩ま たはこれに準 ずる石質	りすつべら、 細長い石片を 含まぬ 砕石2005の 粒形判定55% 実績率以上	
土木学会 コンクリート 標準示方書 (昭和42年) (度版)	ダムコンクリ ート 2.60 以上		硫酸 ナトリウム 12%以下 硫酸 マグネシウム 18%以下 ただし舗装用 コンクリート ダムコンクリ ートには適用 しない	舗装、ダムコ ンクリートセ ル試験機 40%以下	大きさ(mm) 50~5**, 40~5 30~5, 25~5 20~5, 15~5** 80~40***, 60~40*** 30~15** 50~25** **鉄筋コンクリ ート用粗骨材には 含まれぬ ***舗装用コンクリ ートには含まれぬ ダムコンクリート 最大寸法 150, 80, 40 (mm)	1.0%以下 砕石で失われ るものが砕石 粉のときは 1.5%以下	粘土塊 0.25%以下 やわらかい石片 5.0%以下 比重2.0の液体 に浮くもの 1.0%以下 ただし、高炉ス ラグ、砕石には 適用しない (ダムコンクリ ートは除く)		りすつべら・ 細長い石片を 含まない	軽量骨材、 高炉スラグを 除く
ASTM C33-67 Standard Speci fications for Concrete Aggregates			硫酸 ナトリウム 12%以下 硫酸 マグネシウム 18%以下 ただし、空合 高炉スラグに は適用しない	50%以下	Size Number 1, 2, 3, 4, 7, 8 357, 467 No. 200 (74-μ) 以下の骨材 1.0%以下		粘土塊 0.25%以下 やわらかい石片 5.0%以下 チャート含有量 適量な条件 1.0%以下 適量な条件 5.0%以下 石灰塊 コンクリート表 面が重要な壁 造物0.5%以下 その他の構造 物 1.0%以下	アルカリ骨材 反応を起こさ せぬ		砂利 砕石砂利 空冷高炉スラ グ
日本コンクリ ート会議 (1969.3)			種別 A < 12% B < 12% C > 12%	種別 A < 25% B 25~40% C > 40%	粒の大きさ 5005, 4005 2505, 2005 1505, 8040 6040, 5025 4020	種別 a < 1.5% b < 2% c < 2.5%			実績率により 判定	原石岩、玉石 砂利より砕砕 した砕石すべ てに適用する

(2) コンクリートが気象作用に対する耐久性を確保できるように、水分の吸収または温度変化による崩壊、コンクリートに害を与えるような体積変化をしたりすることのない物理的に安定なものであること。

(3) 骨材とセメントとの反応、可溶性成分の溶出、風化による酸化およびセメントの水和作用を妨げるような反応などを起こさないように化学的に安定であること。

(4) コンクリートが十分にその強度を発揮できるようにセメントモルタルの強度以上の堅硬さをもっていること。

(5) セメントペーストに対しても良好な附着性を示す表面組織を有していること。

(6) コンクリートに要求される性質に対して適応性を有していること。すなわち、水密性を要求される場合は骨材の密度が大きく、すりへり抵抗の大きいコンクリートをつくるためには強硬であり、衝撃抵抗の大きいコンクリートをつくるためには強じんであることなどの性質を示すもの。

(7) コンクリートの単位水量を減少させ、かつ骨材下面にできる水隙を少なくするためにりすべらな、または細長い石片の有害量を含有していないこと。

(8) コンクリートの単位水量を少なくするために適当な粒度をもつものであること。

以上のコンクリート骨材として要求される性質について、現行の規格、標準を概略的に示すと表-1のようになっている。

## 2.2 材 質

前述のコンクリート用骨材として要求される性質のうちで、(2)~(6)が骨材の材質として具備されるべき条件となる。これらの中で、(2)物理的な安定性、(3)化学的な安定性、(6)すりへり抵抗および衝撃抵抗性が大きいことなどの3条件は、(4)強硬性、(5)表面組成による附着性の2条件に比較してその結果が施工後の実際の耐用期間を経て現われる性質である。従って、使用前にこれらの3条件については、骨材の材質としての可否について判断を下しうる資料を整え確認しておく必要がある。

物理的に安定で耐久的な骨材とは、強硬で、温度、湿度変化などの気象作用を受けて崩壊したり分解したりすることがないものといえることができる。これに対して軟弱で吸水性が大きく割れやすいもの、または、水で飽和したときに著しく膨張するものは不安定な骨材であり、特に、骨材中に比較的細かな空隙が連続して、多量にあるときは容易に吸水してコンクリート中で飽和状態を保っているため凍結融解に対する抵抗性は著しく低下する。従って、骨材の物理的な安定性を検討するためには吸水量と安定性とによりある程度の判断を行ない、さらに、凍結融解試験を行なって耐久的であるかどうか

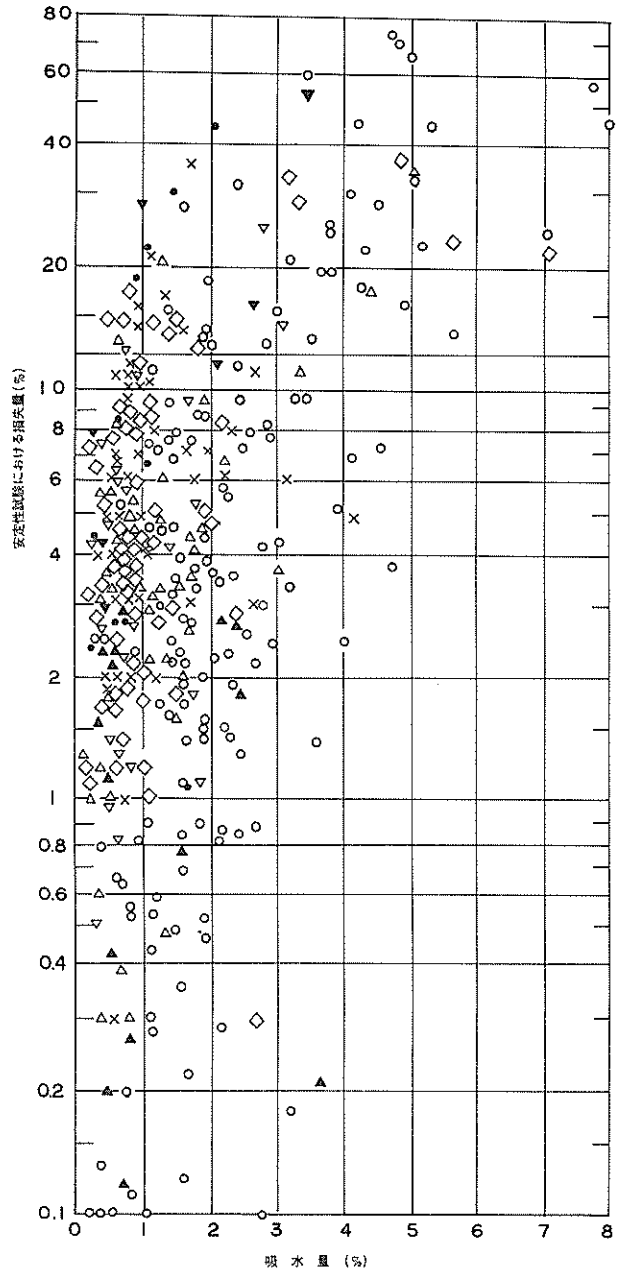


図-1 砕石の吸水量と安定性試験における損失量との関係<sup>1)</sup>

かを判断することが望ましい。材質の軟質さ、あるいは、割れやすさについてはロサンゼルス試験機によるすりへり試験によって判断する。これは、骨材の強度性状についてその材質をある程度把握することのできる資料となる。

日本コンクリート会議砕石委員会の“コンクリート砕石の品質規準作成に関する調査報告書”<sup>1)</sup>(以下、日本コンクリート会議報告と略称することとする。)によると、吸水量と安定性、および、吸水量とすりへり減量との相関性について、図-1および図-2のような結果を得たと報告している。これによれば、吸水量の増大に伴って、安定性試験による損失量およびロサンゼルス試験機によるすりへり減量が大きくなる傾向が見られる。現行の砕石に関する規準では、すりへり減量の規格値を40%以下としているが、図-2に見られるような試験結果では、この限界値を25~30%とすることによって所有のすりへり抵抗を確保することができると考えられる。したがって、現行のすりへり減量に関する規格値を引下げて25%程度とし、さらに安定性試験の結果との関係からコンクリート用骨材としての砕石の物理的安定性を求めるのが良いとしている。このような観点から、日本コンクリート会議では、使用目的に応じて吸水量の範囲を表-2に示されるように類別し、それぞれに対する安定性試験による損失量およびロサンゼルス試験機によるすりへり減量を表-3のように規定することを提案している。

表-2 吸水量による適用範囲<sup>1)</sup>

種別	吸水量(%) JIS A 1110による	適用範囲
A	3未満	安定性が12%以上の場合には凍結融解がしばしば繰返される地域ならびに設計基準強度が300kg/cm <sup>2</sup> 以上のコンクリート構造物にそれを使用するときは、耐久性の実例が凍結融解試験かにより判断する。
B	3以上 5未満	凍結融解がしばしば繰返される地域ならびに設計基準強度が300kg/cm <sup>2</sup> 以上のコンクリート構造物には原則として用いない。止むを得ず用いるときは、コンクリートの強度、および凍結融解試験などを行なった上で判断する。
C	5以上	強度をあまり必要としないコンクリートたとえば裏込めコンクリートなどに用いるのを原則とする。

表-3 安定性試験による損失量とすりへり減量による区分<sup>1)</sup>

種別	安定性試験による 損失量 (%)	すりへり減量 (%) ロサンゼルス 試験機による
A	12未満	25未満
B	12 "	25以上40未満
C	12以上	40以上

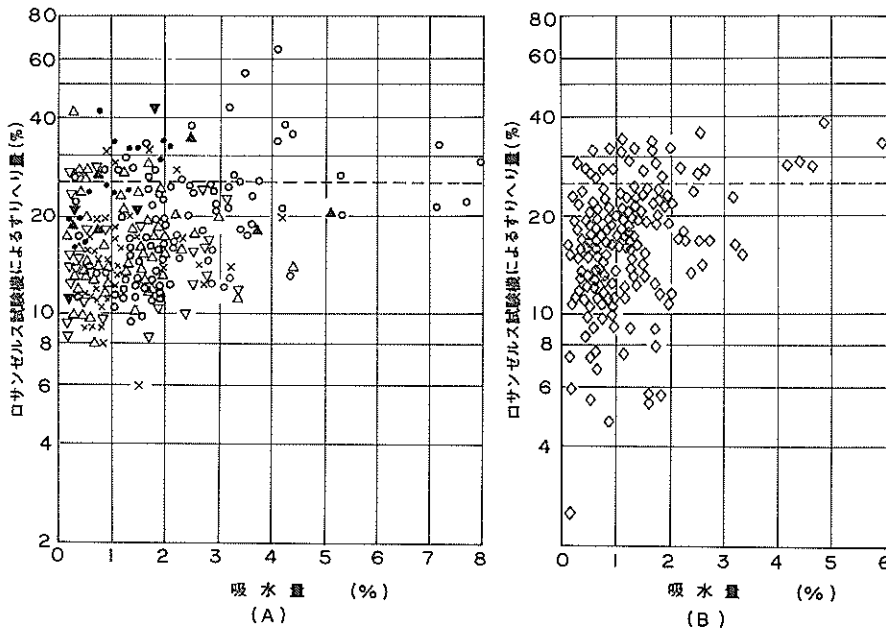


図-2 砕石の吸水量とすりへり量の関係<sup>1)</sup>

化学的安定性については、主として骨材アルカリ反応が考えられる。しかし国内に産する骨材についてはこのような例はほとんどないといつてよいほどまれであり、これに関してはコンクリート標準示方書、JIS などにも何らの制限規定は設けられていない。

### 2.3 粒形および粒度

砕石が河川砂利と異なる最大の特徴はその形状にある。砕石形状の良否を数値的に表わすために砕石粒の個々について、寸法、重量、表面積などの測定、特殊ふるいを用いたふるい分け試験による粒形判定などの試験方法が試みられている。しかし、これらの試験方法はいずれも煩雑であるため、実用性に難点があり、さらにコンクリートの品質との関連も明らかにされていないのが現状である。

日本コンクリート会議では、これに対して砕石の粒形および粒度分布より決まる実績率<sup>\*</sup>を採用することを提案している。すなわち、実績率そのものは粒形に対して間接的な表現をとらざるを得ない測定方法であるが、他の測定方法に比べて簡便で実用的である。また、Züig の粒形表現

<sup>\*</sup> 実績率の測定方法については、原則的にJIS A 5005 に規定される方法に依るが、粗骨材最大粒径が40mm の場合は表-4の粒度としたものについて測定を行なって実績率を求める。

表-4 実績率の測定に用いる試料の調整粒度

粗骨材最大寸法 (mm)	粗骨材 (砕石) 粒径 (mm)				実績率 (%)
	40~30	30~20	20~10	10~5	
20 <sup>*</sup>	-	-	60% (24kg)	40% (16kg)	55
40 <sup>**</sup>	25%	25%	30%	20%	58

<sup>\*</sup> JIS A 5005 に規定される試料

<sup>\*\*</sup> 参考文献<sup>1)</sup> 参照

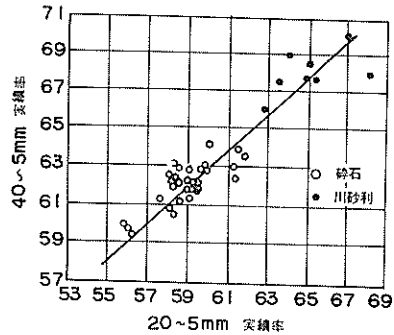


図-3 40~5mmと20~5mmの実績率の関係

とも比較的良好な相関性を示し、コンクリートのコンステンシーとも極めて密接な関係を有する。使用する粒度の砕石をそのまま試料とするのであるから仕様書等に砕石の粒度を規定する場合、あるいは、種類の異なる砕石の粒形を比較する場合には便利と考えられる。

JIS A 5005 によれば実績率の規格値として、砕石 2005 についてのみ55%以上と規定されているが、土木用として用いられる骨材最大粒径20mm 以上の場合についての規定は設けられていない。そこで、日本コンクリート会議報告では、同一の砕石を用いて砕石4005の場合と砕石2005の場合について実績率の関係を求めた結果、図-3のような直線関係が得られたとして、骨材最大粒径が40mm の場合の実績率の下限は最大粒形が20mm の場合よりも3~4%大きくして58%程度とすることが望ましいとしている。

粒度は、コンクリートのワーカビリティや経済性に著しい影響をおよぼし、ひいてはコンクリートの強度や耐久性とも関連を有する。粒度の標準は、一般の粗骨材の粒度範囲にない、表-5の範囲では何問題なく使用できる。コンクリート用砕石は破碎とふるい分けの工程を経て製造さ

表-5 砕石の粒度範囲

ふるいの呼び寸法 粒の大きさの範囲 mm	ふるいを通るものの重量百分率 (%)											
	100	80	60	50	40	25	20	15	10	5	2.5	
砕石5005	50~5	-	-	100	95~100	-	35~70	-	10~30	-	0~5	-
4005	40~5	-	-	100	95~100	-	35~70	-	10~30	-	0~5	-
2505	25~5	-	-	-	100	95~100	-	25~60	-	0~10	0~5	-
2005	20~5	-	-	-	-	100	90~100	-	20~55	0~10	0~5	-
1505	15~5	-	-	-	-	-	100	90~100	40~70	0~15	0~15	-
8040	80~40	100	90~100	45~70	-	0~15	-	0~5	-	-	-	-
6040	60~40	-	100	90~100	35~70	0~15	-	0~5	-	-	-	-
5025	50~25	-	-	100	90~100	35~70	0~15	-	0~5	-	-	-
4020	40~20	-	-	-	100	90~100	20~55	0~15	-	0~5	-	-

<sup>\*</sup> これらのふるいは、それぞれJIS Z 8801 (標準フルイ) に規定する標準網フルイ101.6mm、76.2mm、63.5mm、50.8mm、38.1mm、25.4mm、19.1mm、9.52mm および標準網フルイ4760μ、2380μである。





久性、水密性から)  
 : 粗骨材の最大寸法  
 : 空気量(主として耐久性から)  
 : 混和材の使用  
 : 単位水量  
 細骨材率  
 単位粗骨材容積法: 単位水量  
 単位粗骨材容積

これらの因子のスランプに与える影響の程度は、個々の因子によって相違し、既往の配合設計方法では主要因のみを選定し、配合設計、あるいは配合設計の修正に便ならしむるよう提示する方法を採用している。いま、これらを碎石を使用したコンクリートについて単位水量、細骨材率、単位粗骨材容積の関数関係として捉えたと、たとえば、主要配合設計法においては、

	細骨材率法	単一粗骨材容積法
日本コンクリート会議	$W = W(Co, Slump),$ $S/a = S/a(Co, SFM, W/C),$	同左 $Va = Va(SFM)$
A C I	:	$W = W(Slump, Vair, Gmax)$ $Va = Va(SFM, Vair, Gmax)$
開拓局	$W = W(Slump, Vair, Gmax),$ $S/a = S/a(SFM, W/C, Vair, Gmax)$	同左 $Va = Va(SFM, Vair, Gmax)$

ただし、日本コンクリート会議の方法は、粗骨材最大寸法40mm、AE剤を用いないコンクリートの場合。また

$Co$  は実績率、 $Gmax$  は粗骨材最大寸法  
 $Vair$  は空気量  $Va$  は単位粗骨材容積

表-7 碎石コンクリートの単位水量および細骨材率に関する試験結果の概要

研究者	碎石粒径 (mm)	碎石実績率 (%)	コンクリートのスランプ (cm)	水セメント比 (%)	砂利コンクリートに対する増加量		備考
					単位水量** (%)	細骨材率 (%)	
日本コンクリート会議	40~5	58~65	7±1	50~59	約 10~11	約 5*	* 実績率 60% 程度の碎石の場合
建設省暫定案	40~5	61	7.5	58	6~12(10~20)	約 2~3	玉石碎石も含む
米国碎石協会					11		
A C I					8		
コンクリートマニュアル					7~10		
港湾構造物設計基準	40~5		5~10	約45~60	6~10(9~15)	3~5	
セメント協会 <sup>3)</sup>	40~5	58~64	8±1	45~65	11~12(17~18)	4~5	一般土木用コンクリート
	40~5	58~64	2.5±0.5	36~50	10~11(14~15)	4~5	舗装用コンクリート
山本 <sup>4)</sup>	25~12.5	57~60	約 4.0	56	7~10		実績率 1% の減少に対して 3.8 kg/m <sup>3</sup> の単位水量の増加
児玉 <sup>5)</sup>	25~5	62	5~20	52~65	6~11(10~22)		$y = 0.322x - 5.23$ による ここで y = 単位水量 x : スランプ
菊本・三和 <sup>2)</sup>	25~5	約 60	7.5±1	53~56	9(15)		
磯崎・養王田 <sup>6)</sup>	40~5	66	沈下度30秒	約 50	11~12(17~18)		
梶井・村田 <sup>7)</sup> 石川	20~5	56~60	3~15	40~50	8~11		$W = 290 + 2.65S - 2.15D$ による。 W : 単位水量 S : スランプ D : 実績率
西林・児島 <sup>8)</sup>	25~5	59	10±1	46~71	7~12(15~20)	約 5	
	25~5	60	10±1	46~71	4~6(5~10)	約 2~3	玉石碎石
荒木・河野 <sup>9)</sup>	20~5	60	2~5	40~55	9~11(15~18)		硬砂岩碎石
	20~5	59	2~5	39~54	6~9(10~14)		石灰石碎石

\*\* ( ) の数値は単位水量増加量 (kg/m<sup>3</sup>)

日本コンクリート会議報告の特徴は実験結果に基づいて新たに砕石の実績率が配合設計上の重要な因子であるとしたことである。

既往の多くの実験例は、多くの試験条件を一定とし、二因子あるいは三因子間に交互作用がないものとして実施されたものが大部分である。菊本、三和<sup>2)</sup>は、実験計画法を

用いて個々の因子の有意差検定、寄与率などを検討しているが、試験結果はほぼ既往の影響因子の効果を是認するものであると考えられる。

上述の事柄を総覧すると、一応、次のように影響因子を限定して以下論を進めることは、ほぼ妥当であると考えられる。これらについては、(2)以降でさらに検討する。

細骨材率法 $W = W(C_0, Slump, V_{air}, G_{max}),$ $S/a = S/a(C_0, S_{FM}, W/C, V_{air}, G_{max}),$	単位粗骨材容積法 同左 $V_a = V_a(S_{FM}, V_{air}, G_{max})$
---	---

(2) 単位水量、細骨材率および単位粗骨材容積

砕石コンクリートは河川砂利コンクリートに比較してワーカビリティが劣り、同一スランブを得るための単位水量は増加させねばならない。その増加量は砕石の粒形、粒度、母岩の石質などによって異なるようであるが、既往の試験結果などに記載された値を取り纏めたものが表-7である。単位水量の増加率は、コンクリート中の粗骨材の量が多いほど、すなわち、コンクリートが硬練りであるほど、また

細骨材が細かいほど大きくなる傾向がある。

図-4は、日本コンクリート会議報告に記載された粗骨材の実績率と単位水量との関係の一例であり、いずれも砂利コンクリートとの差で示されている。試験値がバラついており、本図からは、スランブ一定の条件下における砂利、砕石の実績率差と単位水量差の関係を明確に求めることは困難であるが、砂利と砕石の実績率にはほぼ4~8%の相違

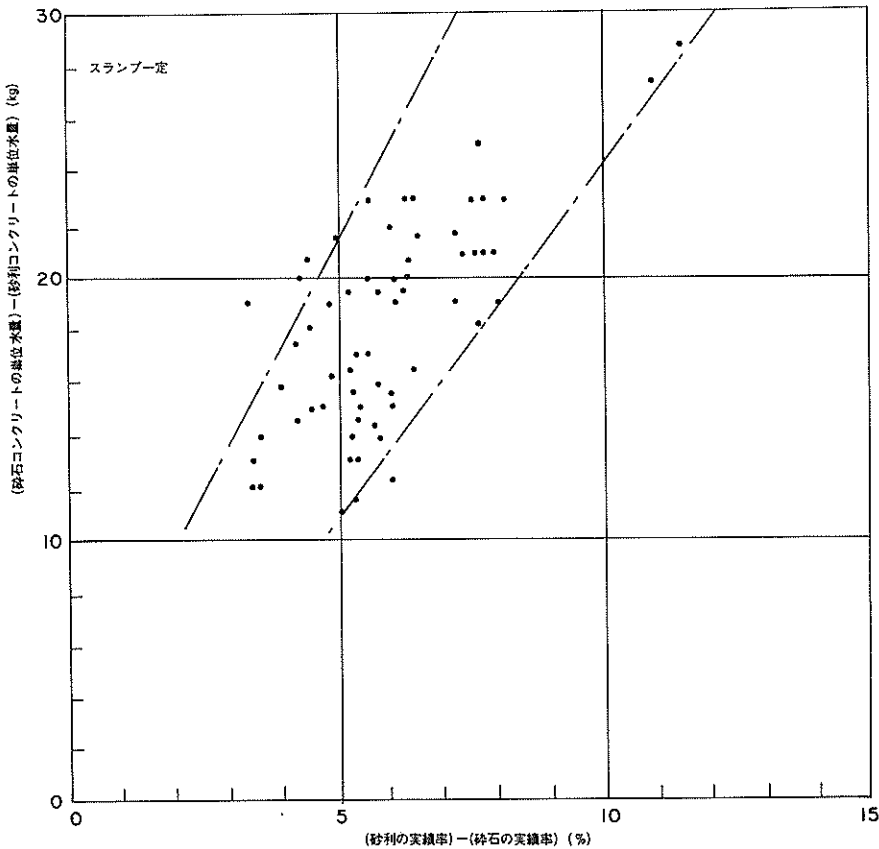


図-4 粗骨材の実績率の変化と単位水量の変化量との関係<sup>1)</sup>

があること、また、この範囲内では単位水量に11~22 kg/m<sup>3</sup>の差のあることがわかる。従って一つの目安として粗骨材最大寸法40~30mmの場合、実績率1%の増加に対して単位水量はほぼ4kg程度減少し得ると考えることができる。図-5は、比較的实验例の多い、最大粗骨材寸法40mmの砕石コンクリートについてのスランプと単位水量の関係を図示したものである。本図では試験値と共に、スランプおよび単位水量の提案式、各種規準による規定値を示している。試験値が相当にバラついていることは砕石の種類などが相違し、やむを得ぬ所である。砕石の種類が広範囲に亘る場合には、明確に実績率が単位水量を規定する因子であると判定し難い。しかし、かなり限定された試験条件下においては、極めて明確な関係があるようであり、たとえば、日本コンクリート会議報告では図-

6を提示している。

最適細骨材率は、(1)で述べたように、主として実績率、砂の粗粒率、水セメント比、空気量、粗骨材の最大寸法によって変動すると思われるが、これらの因子を統一的に実験計画に織り込んで実施された例は本調査の範囲では見あたらなかった。従って、個々の因子の影響程度、交互作用などを厳密に検討することはできないが、一例として山本の結果(図-7)<sup>10)</sup>比較的实验例の多い、プレーンコンクリート、粗骨材最大寸法40mmおよびAEコンクリート、粗骨材最大寸法20mmの場合を図-8に提示しておく。図中の直線で示した関係は、日本コンクリート会議報告で記載されている水セメント比5.88%における関係式を基準としたものであるが、砕石の種類が広範囲に亘る場合には、必ずしも細骨材率と砂の粗粒率に明確な関係の求められるものも多い。しか

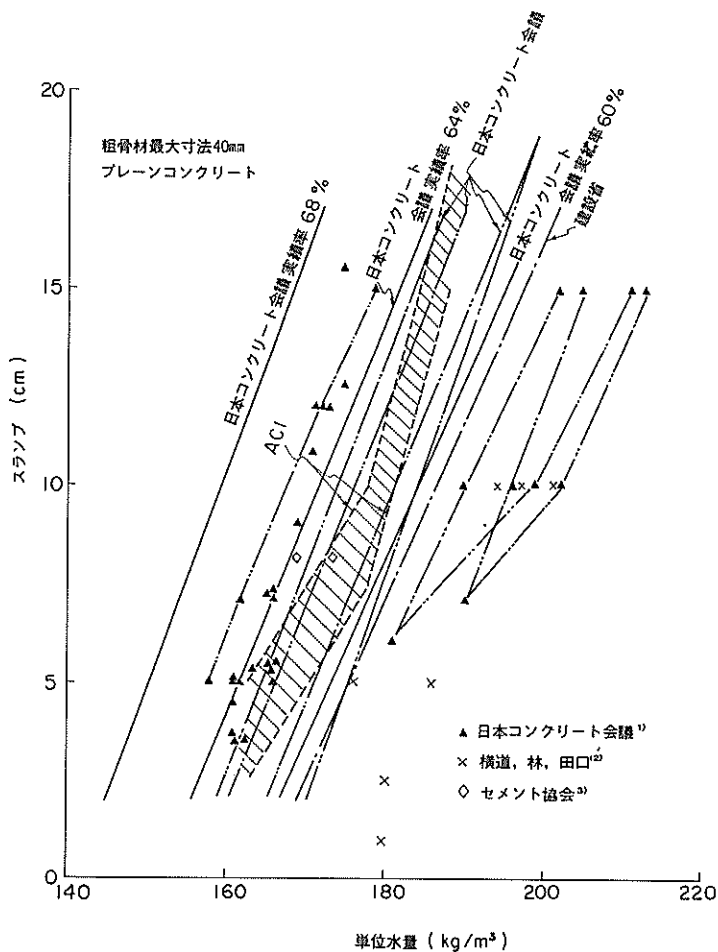


図-5 砕石コンクリートのスランプと単位水量の関係

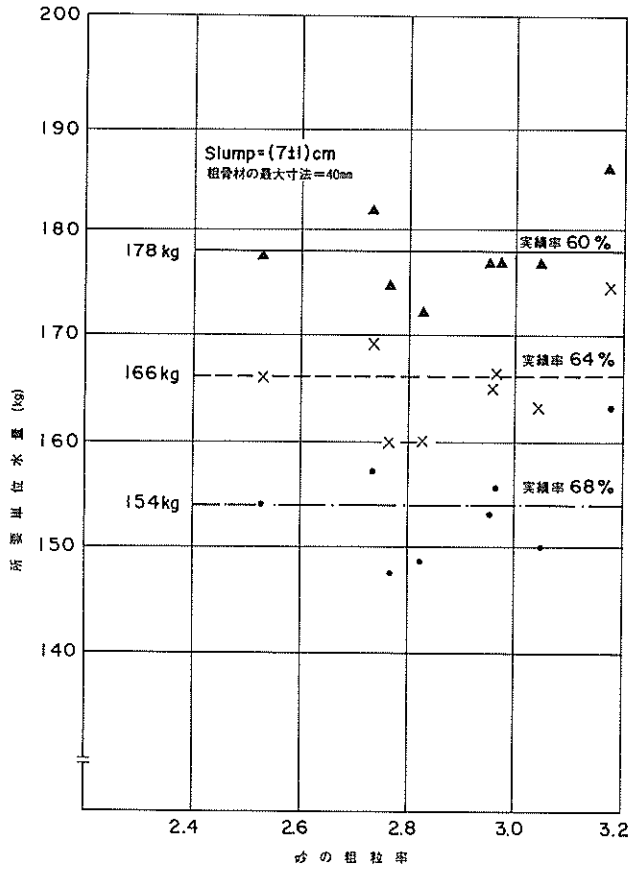


図-6 粗骨材の実績率と所要単位水量との関係<sup>1)</sup>

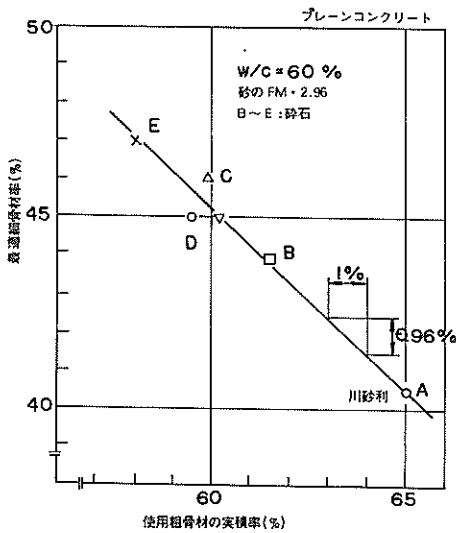


図-7 粗骨材の実績率と最適細骨材率との関係<sup>10)</sup>

し、図-7, 8から一応の目安として実績率1%の増減に対して細骨材率を0.9~1.0%減増すれば良く、また細骨材の粗粒率が0.1増加すると細骨材率を0.6%程度増加させれば所定のコンシステンシーのコンクリートが得られると考えられる。また、セメント水比 $C/W=0.5$ の増加に対して細骨材率を約2%減少させれば良いことがわかるが、これは後述の表-8に示した水セメント比5%の変化に対する細骨材率の補正量1%よりやや少ない値である。単位粗骨材容積による配合設計を前提として、これと、各因子の関係を求めた試験例は少ないが、図-9では粗骨材最大寸法40mmの例を示した。

表-8には、細骨材の粗粒率、水セメント比、スランプおよび空気量の変動に対する細骨材率と単位水量の補正率を現行の規格および既往の研究結果から提示したものである。これによれば、スランプ値については1cmの増減に対して細骨材率は、そのままとして、単位水量を1.2%程度増減させれば良いようである。

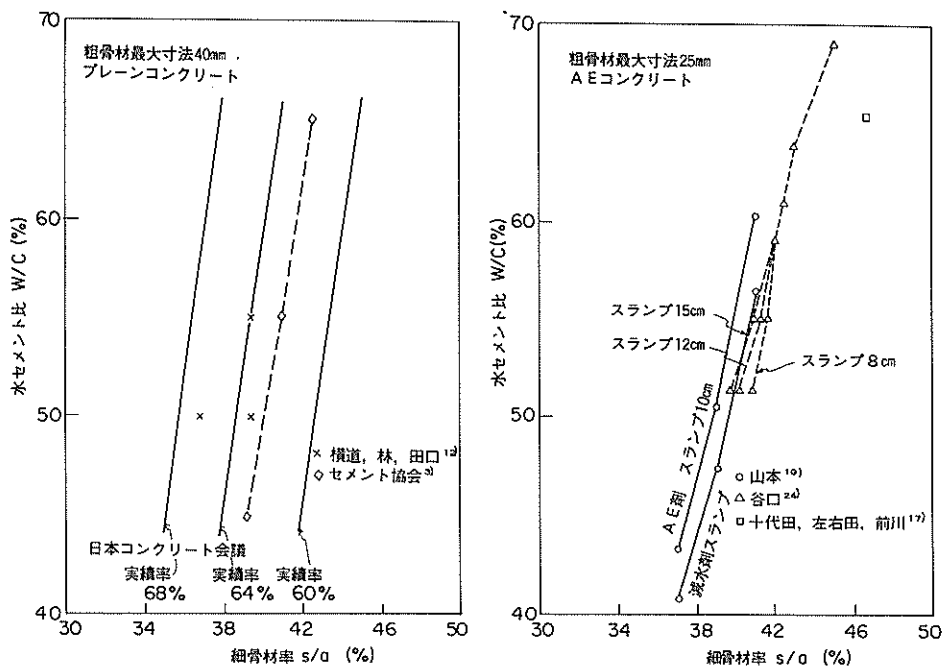


図-8 最適細骨材率と水セメント比の関係

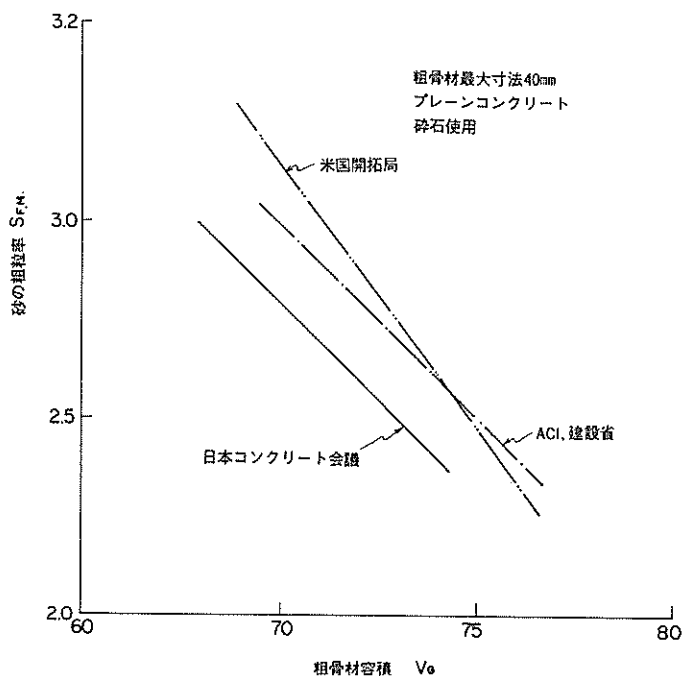


図-9 粗骨材容積と砂の粗粒率の関係

(3) 混和剤の使用

単位水量を減少してワーカブルな砕石コンクリートを得

るためには、A E剤または減水剤などのいわゆる表面活性剤を使用することは適切な方法である。表面活性剤を使用

表-8 細骨材の粗粒率、水セメント比、スランプ、空気量の増加に対する補正量(%)

研究者	細骨材の粗粒率 0.1		水セメント比 5%		スランプ 1 cm		空気量 1%		備考
	細骨材率	単位水量	細骨材率	単位水量	細骨材率	単位水量	細骨材率	単位水量	
日本コンクリート会議	+0.6	修正なし	+0.5 ~+0.7	修正なし	修正なし	+1.1			
建設省 暫定案	+0.5	”	+1.0	”	”	+1.2	-0.5 ~-1.0	-3.0	W/C=55% スランプ 7.5 cm
港湾構造物 設計基準	+0.5	”	+1.0	”	”	+1.2	-0.5 ~-1.0	-3.0	
建築基準					”	+1.2	約 5ℓ/m³	-約3	スランプ18 cm未滿で粗 骨材量で約3 %減
児玉 <sup>5)</sup>					”	+1.7			単位水量10 kg/m³に對 してスランプ 3.3cmの變化
菊本・三和 <sup>2)</sup>					”	+1.2			
伊東・磯崎 養王田 <sup>11)</sup>	+0.8	修正なし	+1.0	修正なし	”	+1.5	-5.0	-3.0	舗装用コン クリート

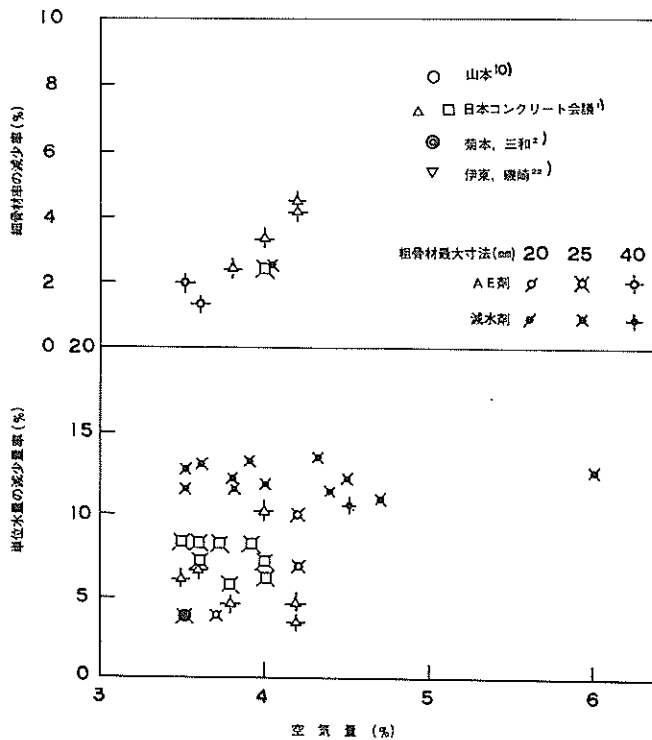


図-10 減水剤あるいはAE剤の使用による単位水量および細骨材率の減少割合





リートの圧縮破壊が通常、ある面の滑りによって生ずることから考えれば、砕石のように角のある骨材はこの滑りに対する抵抗力が大きく強度特性は向上する。

コンクリートの水セメントないしはセメント水比と圧縮強度に関して検討した試験例は極めて多い。また、個々の試験範囲内において、両者の関係式も提案されている。しかし、多くの試験結果を再整理すると、値のバラツキが極めて大きく明確な関係式を把握できない。これは、川砂利を用いたコンクリートについても同様であるが、砕石コンクリートはさらに、砕石の品質、形状などによっても

左右され、バラツキの程度はさらに大きくなる。

図-11ではセメント水比と圧縮強度の関係を既往の試験結果から、また、図-12にはセメント水比と曲げ強度の関係の一例を、日本コンクリート会議の報告書から抜粋して示したものである。これによれば、おおよその傾向として同一水セメント比において砕石コンクリートは河川砂利コンクリートに比較して、圧縮強度で10~12%、曲げ強度で4~8%大きいことがわかる。この値をセメント水比に換算して比較してみると、同一強度を得るための砕石コンクリートのセメント水比は河川砂利コンクリートに比べて、0.15~0.17小さい値(水セメント比で3~6%大きな値)とすること

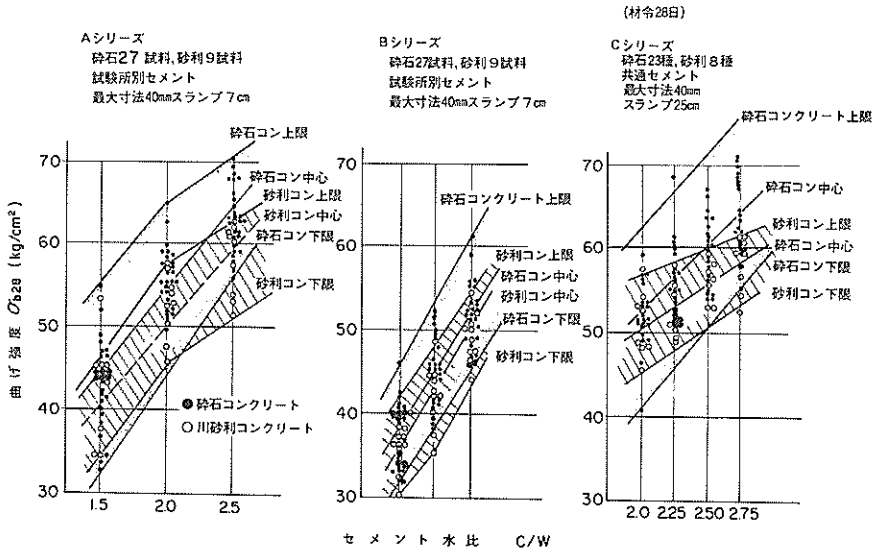


図-12 コンクリートのセメント水比と曲げ強度との関係<sup>1)</sup>

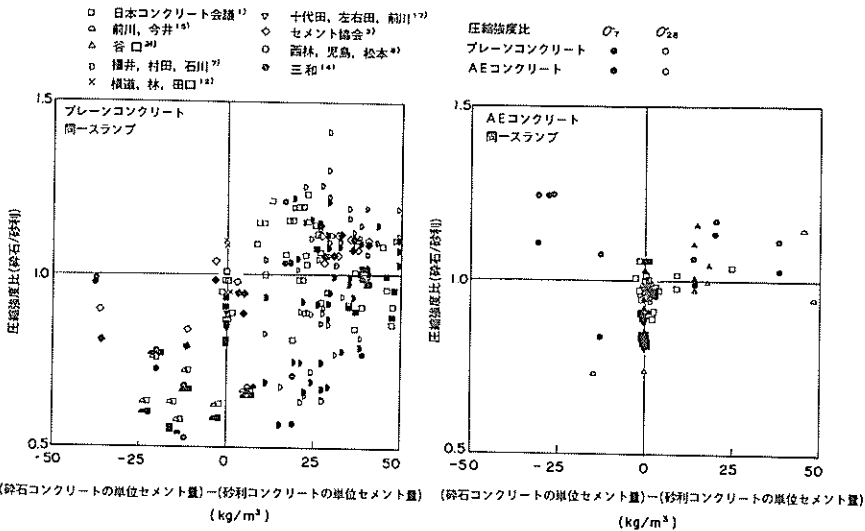


図-13 同一スラブにおける砕石コンクリート、砂利コンクリートの圧縮強度比

ができる。

図-13では、ほぼ同一スランブの砂利コンクリートおよび碎石コンクリートの圧縮強度比と、両者のセメント使用量の相違に関する既往の試験例を取り纏めたものである。強度比が1に近いものは、前述の日本コンクリート会議の報告におけると同様に、碎石コンクリートの水セメント比が砂利コンクリートの水セメント比に比較し、5%程度上廻るものが多い。本図からも明らかなようにそれぞれの試験値は相当バラついており、同一スランブ、同一セメント量で砂利コンクリートと碎石コンクリートの強度差の関連性を見出すことは困難である。しかし、試験条件を限定して実施した横道<sup>12)</sup>の試験例では、この傾向はかなり明確に示されほぼ同一の強度を有するようである。

従って、強度およびスランブをもとにして、コンクリートの配合を定める場合、砂利コンクリートに対して、碎石コンクリートの単位セメント量はほぼ同一程度と考えられる。

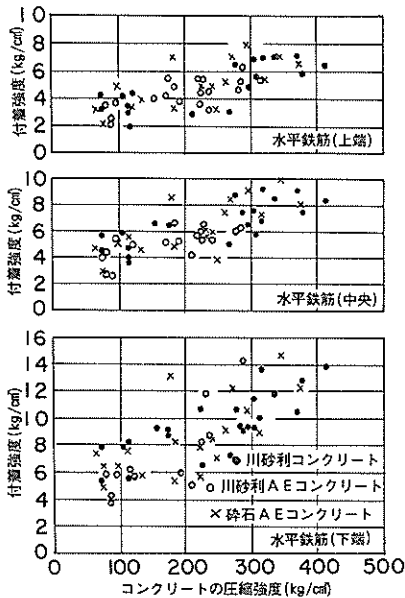
もっともこの場合、必然的に水セメント比が大きくなるので耐久性の面から水セメント比が決定される場合には単位セメント量の増加が必要である。

図-14には、コンクリートの圧縮強度と鉄筋の付着強度との関係を示している<sup>13)</sup>。このように碎石コンクリートの鉄筋に対する付着強度は、河川砂利コンクリートとほ

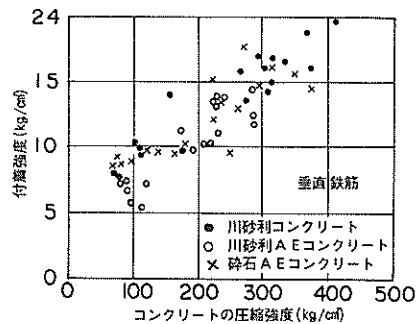
ぼ同等であることがわかる。ここで、この実験に用いた碎石の実績率は58%程度の普通の碎石であり、これにより粒形が悪く、単位水量や細骨材量が著しく多くなる場合には特に水平鉄筋に対して付着力が減少するおそれがある。従って、鉄筋コンクリートに碎石コンクリートを用いる場合、碎石の実績率は少なくとも58%以上のものを用いることが望ましい。

## (2) 碎石の品質とコンクリートの強度との関係

碎石の品質とコンクリートの強度の関係については比重の小さいもの、吸水量の大きいもの、安定性の良くないもの、すりへり減量の多いものおよび噴出岩類や風化の進んだ岩石などは、コンクリートとして使用した場合に、河川砂利コンクリートに比較して低い強度を示すことがあり、耐久性の点でも欠陥となるおそれがあるので注意しなければならない。しかし、上述のような性状を有する碎石であっても、コンクリートとして高い強度比を示し、また十分な耐久性を示すものもあることが報告されているので、碎石の合理的な利用を図るうえでは骨材の試験結果はあくまでも予備的な判断のためのもので、最終的にはその骨材を用いてコンクリートの試験を行なって使用の可否を決定すべきである。ただし、原則的には、重要な構造物への低品質碎石の使用は避けることが望ましい。



(1) 水平埋込鉄筋



(2) 垂直埋込鉄筋

図-14 コンクリートの圧縮強度と鉄筋の付着強度との関係<sup>13)</sup>

(3) 砕石コンクリートの水密性および耐久性

水密性については砕石コンクリートの場合、河川砂利コンクリートに比較して水セメント比が大きくなる傾向にあるので、水密性が低下するおそれがあるが、このような性質はA E剤、減水剤の適当量の使用と入念な施工を行なうことによって相当程度改善されるようである。

コンクリートの耐久性を評価するための試験方法としては、安定性試験、凍結融解試験が多く用いられている。これらの試験方法は、主としてコンクリートに対する凍結融解に対する抵抗性を判定するための方法である。

凍結融解作用に対する砕石コンクリートの抵抗性を、各種因子、水準のもとに実験計画法により検討したものに三和の報告<sup>14)</sup>がある。これによると、凍結融解に影響を与える主要因子はコンクリート中の空気量であり、砕石の種類、セメント水比も若干の効果を有するようである。

図-15では、要因別のコンクリートの相対弾性係数と凍結融解繰り返し回数との関係を引用したものである。これによればA Eコンクリートとした場合、プレーンコンクリートの耐久性指数が56%程度であるのに対して、連行空気量が4%で93%、7%で98%となっている。

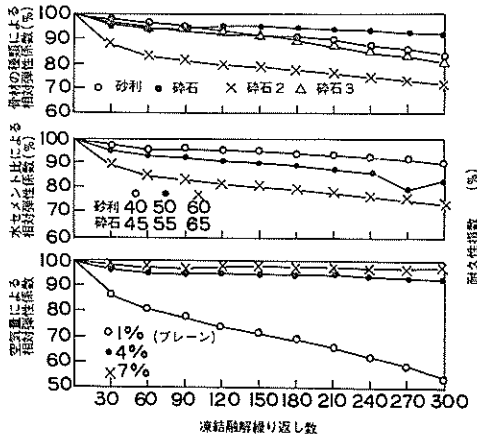


図-15 要因別コンクリートの相対弾性係数と凍結融解繰り返し回数との関係<sup>14)</sup>

水セメント比と凍結融解に対して抵抗性の試験を実施したものに前川、今井の報告(図-16)<sup>15)</sup>がある。試験結果は三和の報告と同様であって、水セメント比の小さな砕石コンクリートほど耐久性は向上する。

砕石の品質、種類によって、凍結融解に対する抵抗性は相違する。たとえば、三和(図-15)、前川・今井(図-17)<sup>15)</sup>、林(図-18、19)<sup>16)</sup>の報告で示されたように、一般に比重が小さい砕石、安定性試験における減量が大きい砕石、吸水量が3%を越える品質の砕石などを用いたコ

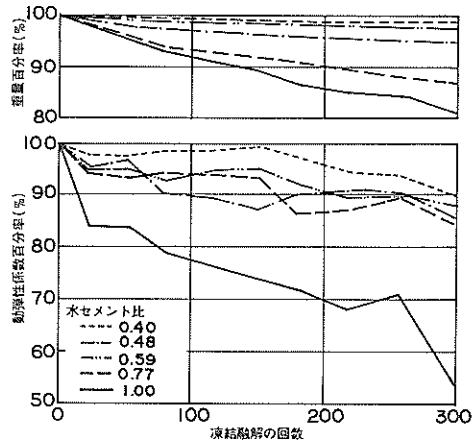


図-16 砕石Dを用いたA Eコンクリートの凍結融解試験結果<sup>15)</sup>

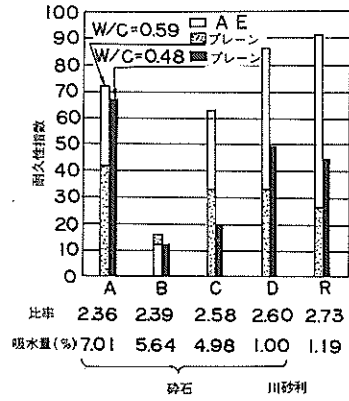


図-17 コンクリートの凍結融解試験結果<sup>15)</sup>

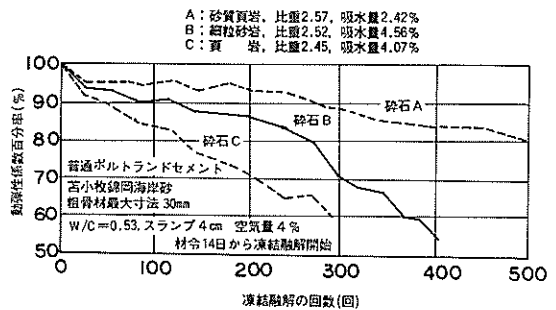
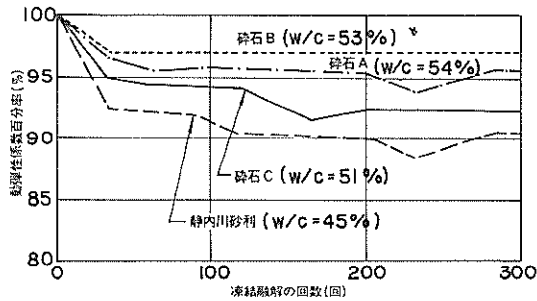
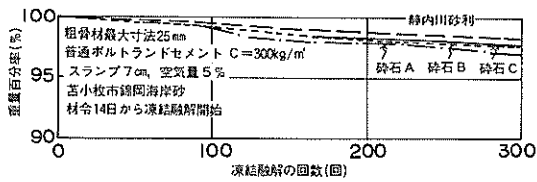


図-18 砕石3種を用いたA Eコンクリートの凍結融解試験結果<sup>16)</sup>

ンクリートは、強度や凍結融解に対する抵抗性が小さくなるおそれがある。従って、このような砕石を用いる場合は必ず事前に試験を行なって所要の強度、耐久性が得られ



砕石A: 安山岩比量2.80, 吸水量1.71%, 安定性試験の損失量3.4%  
 砕石B: 安山岩比量2.62, 吸水量1.58%, 安定性試験の損失量2.7%  
 砕石C: 安山岩比量2.56, 吸水量1.30%, 安定性試験の損失量3.5%

図-19 安山岩砕石を使用したコンクリートの凍結融解試験結果<sup>16)</sup>

ることを確認しておく必要がある。しかし、砂利コンクリートにおけると同様に、安定性試験と凍結融解試験には明確な相関性を提示することは出来ないという試験結果も報告されている。前川、今井<sup>15)</sup>の報告している図-20では、両者の関係における試験値が相当にバラついている。また、図-15に示した三和の報告でも砕石1、砕石2、砕石3の安定性試験における重量損失量はそれぞれ2.0%、2.1%、28.0%であった。低品質砕石と考えられる砕石3に著しい凍結融解作用に対する低下の傾向が認められない。

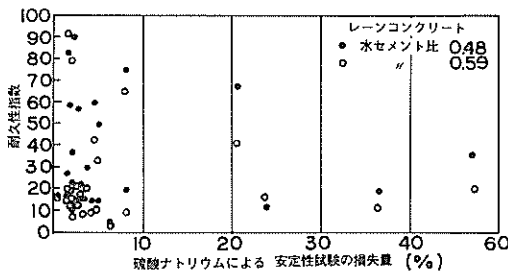


図-20 硫酸ナトリウムによる安定性試験試験の損失量と耐久性指数との関係<sup>15)</sup>

凍結融解に対する抵抗性は、AEコンクリートとすることによって一般に著しく改善される。しかし、一部の砕石では、AEコンクリートとしても改善されることなく、凍結融解作用の繰り返しのことによって骨材の膨張をきたしコンクリートの破壊に至った例も報告されている。従って、

実際に構造物に対してこのような規格値を満足しない砕石を用いようとする場合、試験を行なって使用の可否を決定しなければならない。

耐久性をもとにして水セメント比を定める場合、砕石コンクリートは良質な混和剤を使用したとしても砂利コンクリートと比較して単位水量が多くなっているため、標準示方書に示されている耐久性をもとにして定める最大水セメント比を満足させるためにはセメント使用量が多くなる傾向がある。

しかしながら、自然の気象条件のもとにある実際のコンクリート構造物の水セメント比が60~65%であるにもかかわらず、建設後22~41年間に1000~2600回の凍結融解作用を受けてなお、十分構造物としての機能を果たしているとの調査結果も報告されている<sup>1)</sup>。このことは、良質な細骨材を用いることはもちろんであるが、適当量の連行空気量を有するAEコンクリートとして出来るだけ入念な施工を行なうことを心掛ければ、確実に良好な耐久性を得ることが出来ることを示すものと思われる。

従って、日本コンクリート会議報告では構造物の重要性と耐用期間中にうける凍結融解の程度、補修の難易などを考慮し、コンクリート標準示方書に示される最大水セメント比を最大5%まで増加させても良いとしている。

### 3.3 玉石砕石および河川砂利との混用

玉石砕石、あるいは過大径の砂利を破碎した骨材の場合、形状は原石の粒径によって異なる。すなわち、原石が相当大きければ砕石面が多くなり砕石に近い性状を示すが、所要の粒形よりもあまり大きくない原石を用いてこれを破碎した場合、扁平な形状となりやすく、また、破砕面も少なく丸味を帯びた面を多くもつ砕石となる。

玉石砕石コンクリートでは、その性質上、砂利と砕石の中間的なものとみなしうる。すなわち、砕石とは異なり表面の一部に丸味が残っているために、まだ固まらないコンクリートの性質に影響し、同一ワーカビリティを得るに要する細骨材率、単位水量は若干少なくなる。また、強度的にも砂利コンクリートに近い性状を示すようである。

図-21では、ほぼ同一スラブ、同一強度における単位水量の増加の割合、およびほぼ同一スラブにおける単位水量および圧縮強度の変化に関する既往の試験結果を取り纏めて図示したものである。本図によると、砕石の混入割合に応じて単位水量は直線的に増加する傾向を示している。しかし、実際上はほぼ砕石混入20~30%程度までは舗装コンクリートにおける取扱いと同様に砂利コンクリートと考えて、50%程度では砂利コンクリートと砕石コンクリートの中間的性質を表すものとし70~80%以上の混入割合ではこれを砕石コンクリートと想定することが簡便であり、また、大きな誤差は生じないであろう。し

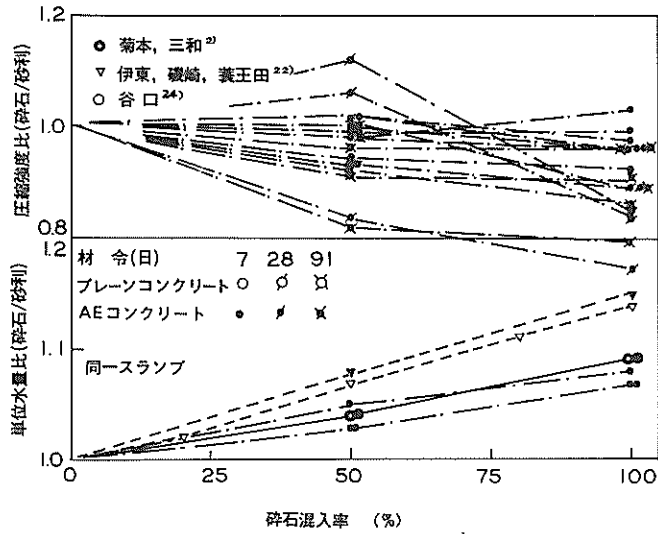


図-21 碎石の混入率による圧縮強度、単位水量の変化

かしこの際、強度的には碎石のみを用いたコンクリートより幾分低い値を示すものになることに注意しなければならない。

### 3.4 混和材の使用

フライアッシュとの代替は耐久性と水密性の向上、乾燥収縮およびマッシュなコンクリートの硬化熱の減少、ひびわれの防止などの点からコンクリートに対して有効であり、かつ経済的である。ワーカビリティの改善については、砂利コンクリートの場合ほどは期待できないという報告<sup>17)</sup>もあり、AE剤や減水剤等の表面活性剤と併用すべきであると考えられる。フライアッシュをセメントと代替した場合、AE剤の混入効果が減少する傾向があり、フライアッシュを用いないコンクリートと同一の空気量を得るためには、AE剤を増量しなければならない点に注意する必要がある。

フライアッシュの混和量は、セメントとの代替率で5%程度まではその混入効果を得ることは困難とされ、かつ30%を越える場合については混入効果とその代替率に対して減少することが報告されており<sup>18)</sup>、また短期強度の発現性を考慮する場合10~20%が適当であると思われる。一般には、材令7日においては、フライアッシュの混入による強度の低下はかなり大きいのが、

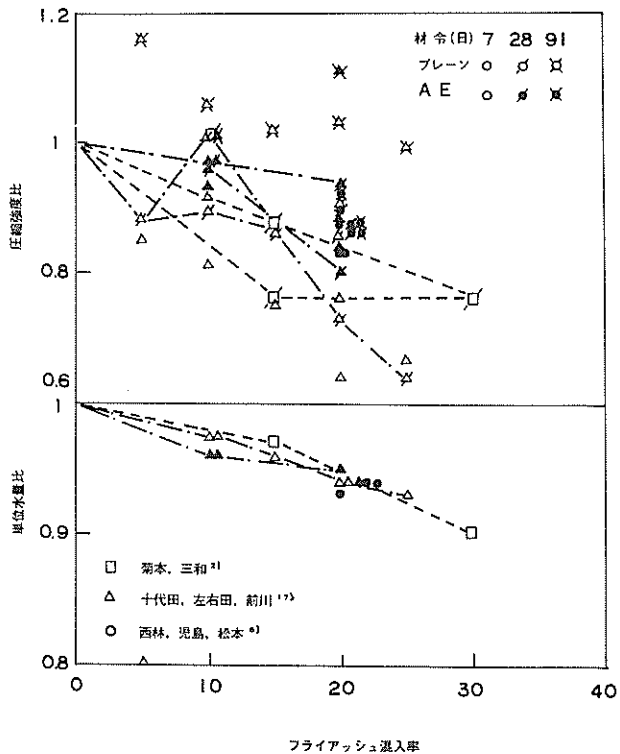


図-22 フライアッシュの混入による圧縮強度および単位水量の変化

材令の経過と共に回復し材令 91 日においては、ほぼ同等、もしくはそれ以上の強度発現を期待できる。

たとえば、図-22 は、フライアッシュを混入した同一スランブのコンクリートの単位水量および圧縮強度の減少の割合を示したものである。

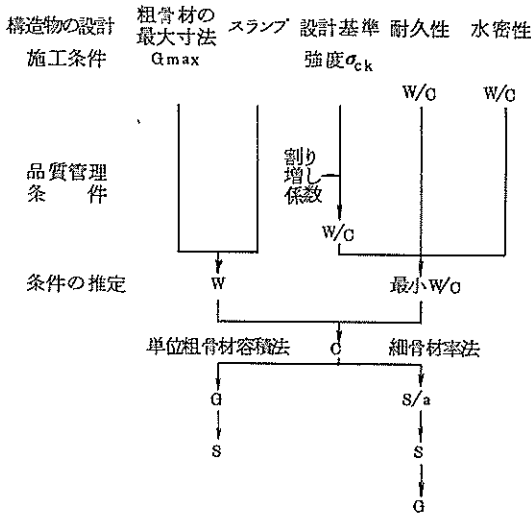
フライアッシュ混入率 20% では、単位水量は、ほぼ 5% 減少することが出来るようである。従って、一つの目安として、フライアッシュの置換による単位水量の減少は、置換率 5% 以上の場合について 5% 変化に対して 1% 程度と考えられる。細骨材については単位水量の減少に対してやや少な目に減少させれば良い。材令 28 日における圧縮強度の低下は 15% 程度であり、フライアッシュを使用させるコンクリートと同一スランブ、同一強度のコンクリートを得るためには水セメント比を 3~5% 程度減少させる必要がある。

#### 4. 砕石コンクリートの配合設計法

##### 4.1 配合設計法の分類

コンクリートの配合設計の基本は、所要のワーカビリティが得られる範囲内で最小単位水量とすること、硬化コンクリートにおいて所要の品質強度、耐久性、水密性を満足するよう水セメント比を定めることの 2 点にある。

それぞれの規準に定める配合設計は細部については若干相違するが、3.1 で触れたように概略的には次のように単位粗骨材容積法、細骨材率法に分類することができる。



単位粗骨材容積法では、単位セメント量、単位水量および空気量が変わっても最適単位粗骨材容積の値は変わらないと言われており、建設省<sup>19)</sup>、ACI などで採用されている。日本コンクリート会議の報告書では、さらに、砕石の

実績率が砕石の品質特性を判定するための有効な因子として導入されている。

以下、港湾構造物で主として使用されるコンクリートの範囲

粗骨材最大寸法 : 25, 40, 50 mm

空気量 : 4% (AEコンクリート)

スランブ : 5~15 cm 程度

を基準として砕石コンクリートの配合設計方法を検討することとする。なお、ここで述べる数値は各基準、既往の試験例、提案式を基準として若干の修正を加えたものであって、本条件に合致した試験値が蓄積されれば順次改訂される性質のものである。

##### 4.2 単位粗骨材容積法による場合

条件 空気連行コンクリート (空気量 4%)

スランブ 7 cm

実績率 64%

###### (1) 単位水量

粗骨材最大寸法 (mm)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )
25	160
40	150
50	140

条件が異なる場合の単位水量の修正法

空気量 ±1% に対して ±3%

スランブ ±1 cm に対して ±1.2%

実績率 ±1% に対して ±1.8%

###### (2) 単位セメント量

水セメント比が耐久性から決定される場合には、耐久性に必要な水セメント比が得られるよう単位水量の増加に応じて単位セメント量を増加させる。また、水セメント比が強度から定まる場合には試験を行なって、セメント水比と強度の関係を求めて、この関係に基づいて得られる水セメント比から単位セメント量を求める。

###### (3) 単位粗骨材量

次式によって求める。

単位粗骨材量 =  $\alpha \times$  粗骨材の単位容積重量

$\alpha$  は、次の値を用いる。

粗骨材の最大寸法 (mm)	砂の粗粒率			
	2.4	2.6	2.8	3.0
25	0.68	0.66	0.64	0.62
40	0.74	0.72	0.70	0.68
50	0.77	0.75	0.73	0.71

###### (4) 単位細骨材量を求める。

##### 4.3 細骨材率法による場合

条件 空気連行コンクリート (空気量 4%)

スランブ 7 cm

実績率	64%
砂の粗粒率	2.80
水セメント比	55%

- (1) 単位水量  
4.2(1)から求める。
- (2) 単位セメント量  
4.2(2)から求める。
- (3) 単位細骨材量

粗骨材最大寸法(mm)	細骨材率
25	43
40	38
50	34

条件が異なる場合の細骨材率の補正方法

砂の粗粒率	±0.1%に対して	±0.5%
空気量	±1%に対して	±0.5~1.0%
水セメント比	±5%に対して	±1.0%
実績率	±1%に対して	±1.0%

## 5. 砕石コンクリートの施工

砕石コンクリートは、河川砂利コンクリートに比較して同一スランブであっても流動性のうえて幾分劣る傾向があり、しかも運搬打込み中に分離する傾向が大きい。従って基本的には分離しないで確実な充填ができる打込み作業を考慮しなければならない。

レデーミクストコンクリートの運搬では、ミキサー車より排出されるコンクリートのスランブが比較的硬練りの場合に中間部が大きくなる傾向を示し、軟練りでは中間部がやや硬くなる傾向がみられる。図-23には、レデーミクストコンクリートをミキサー車より排出した場合のコンク

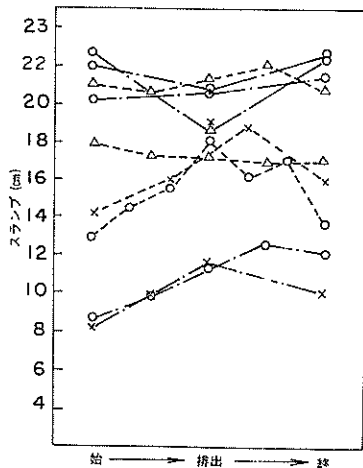


図-23 生コン車1台のスランブ変化<sup>20)</sup>

リートのスランブの変化の測定例を示した<sup>20)</sup>。

現場においては、コンクリート打込み方法によってもコンクリートの分離傾向は異なる。一般に底置きダンプバケットをクレーンで吊って、打込み場所まで運搬する方法、コンクリートポンプによる方法、ベルトコンベアによる方法、ネコ車による方法の順で分離が大きくなる。

コンクリートポンプは、砕石コンクリートの場合、吐出最大距離が砂利コンクリートに対して約30%程度も減少し、圧送力も増大するのでパイプラインでのコンクリートの閉塞が生じやすい。従って、パイプ径に対する砕石最大粒径を適正なものとし、また単位セメント量を10~15%程度増大させ、あるいは、混和材料を用いるなどの配合上の補正や圧送時の骨材の吸水などを考慮する必要がある。

コンクリートの打込み高さは、3~4mを限度として、できるだけ、水平に打ち上げるようにし、落ち口の間隔も3mを限度として、大きな横流しは避けるべきである。

砕石コンクリートの材料分離による沈降の程度は、スランブや締め固め条件によっても異なるが、できるだけワーカブルなものを用いることが望ましい。砕石コンクリートは、河川砂利コンクリートと同一スランブであっても単位水量が多いので、ブリージング量も多くなりやすく、鉄筋コンクリートの場合鉄筋に沿って沈みやクラックが生じやすい。締め固めに対しても、砕石コンクリートの場合、砂利コンクリートに比較してコンシステンシーが劣るのでコンクリートの流出面に豆板が生じやすいので振動締め固めとすることが望ましいが、この場合、締め固めの振動時間が長すぎるとコンクリートの分離を生ずるので注意しなければならない。

## 6. あとがき

砕石コンクリートを用いるにあたっての砕石の品質、砕石コンクリートの性質、砕石コンクリートの配合設計方法、およびその施工上の問題について概略的に述べた。河川砂利の枯渇に伴って、骨材としての砕石の利用が増大しており、港湾工事に用いられるコンクリートも砕石を用いる例が多くなっている。現状では、コンクリート骨材としての砕石の品質の変動は非常に大きいし、砕石を使用したコンクリートの性質を結論できるものではないが、本資料のまとめとして述べるとすれば次のことが言えると思われる。

すなわち、現行のJIS A 5005コンクリート用砕石に規定された品質を満足するものであれば、一般土木構造用コンクリートの骨材として用いてさしつかえない。そして、骨材資源の合理的な利用を図る上で、この規格外でも適用範囲を限定して用いることが必要であることの2点である。

配合設計方法については、各種配合設計法、多くの試験結果を参考として平均的な方法を提示した。しかし、前述したように、碎石の品質自体が使用する施工現場によって相当にバラつくものであり、標準的な配合方法は必ずしも所要の碎石と最も経済的な配合を指針するものでない場合も生ずる。従って、実際の配合の決定に当たっては、試験練りを実施して、最も経済的な配合を定める必要がある。

レデーミクストコンクリートを用いるについても、碎石コンクリートの特性を把握して、さらに施工上の問題点も十分に捉えて配合を検討し、合理的なレデーミクストコンクリートの購入を図るとともに、施工に対しても砂利コンクリート以上の注意が必要とされることを認識して、積極的かつ合理的な碎石および碎石コンクリートの利用を図るべきである。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本コンクリート会議碎石委員会、“コンクリート用碎石の品質規準に関する調査報告書”、昭和44年3月。
- 2) 菊本幸雄・三和久勝、“碎石コンクリートの基礎的性質について”、セメント技術年報、XXIII、pp. 340～343、昭和44年。
- 3) “碎石を用いた舗装用コンクリートの圧縮強度および曲げ強度に関する研究”、セメント協会コンクリート専門委員会報告、F-20、昭和43年10月。
- 4) 山本泰彦、“粗骨材の形状ならびに表面性状がコンクリートの諸性質におよぼす影響”、セメント技術年報、XXII、pp. 239～243、昭和43年。
- 5) 児玉武三、“碎石コンクリートのワーカビリティにおよぼすフライアッシュの影響について”、セメントコンクリート、No. 249、pp. 9～16、昭和42年11月。
- 6) 磯崎正晴・養王田栄一、“舗装用コンクリートの最適細骨材率に関する研究”、セメント技術年報、XIX、pp. 413～417、昭和40年。
- 7) 梶井基彦・村田義夫・石川洋治、“碎石の実績率とコンクリートの配合との関係について”、セメント技術年報、XXII、pp. 244～249、昭和43年。
- 8) 西林新蔵・児島孝之・松本忠夫、“碎石コンクリートに関する2、3の試験”、セメント技術年報、XXIII、pp. 349～356、昭和44年。
- 9) 荒木謙一・河野 清・水口裕之、“かた練りコンクリートの配合とコンシステンシー強度について”、セメント技術年報、XXIII、pp. 357～361、昭和44年。
- 10) 山本泰彦、“碎石コンクリートに関する基礎的研究”

第23回土木学会年次学術講演会概要、N-1、pp. 3～6、昭和44年。

- 11) 伊東茂富・磯崎正晴・養王田栄一、“舗装用コンクリートの細骨材率および単位水量に関する参考表の提案”、土木技術資料、Vol. 7、No. 10、pp. 1～4、昭和40年10月。
- 12) 横道英雄・林 正道・田口雍也、“砂利コンクリートと碎石コンクリートの比較研究(第1報)”、セメント技術年報、VII、昭和28年。
- 13) 森 徹・永田長重・依田彰彦、“高炉セメントの利用に関する研究(第26報)”、建設省建築技術研究所第2研究部研究速報第259号、昭和34年。
- 14) 三和久勝、“碎石コンクリートの耐久性について”セメントコンクリート、No. 281、pp. 2～8、昭和45年7月。
- 15) 前川静男・今井益隆、“低品質の碎石がコンクリートの諸性質に与える影響”、コンクリートジャーナル、第8巻、第12号、pp. 14～23、昭和45年12月。
- 16) 林 正道、“コンクリート用骨材について”、第18回コンクリート講演会テキスト、セメント協会、昭和42年。
- 17) 十代田知三・左右田孝男・前川 淳、“碎石コンクリートに及ぼす混和物の影響”、日本建築学会論文報告集、第66号、pp. 69～72、昭和35年10月。
- 18) 児玉武三、“碎石コンクリートのワーカビリティにおよぼす混和材料の影響について”、第23回土木学会年次学術講演会概要、N-54、昭和42年。
- 19) 建設省大臣官房技術参事官室、“碎石コンクリートの配合設計方法について”、セメントコンクリート、No. 233、pp. 32～33、昭和41年7月。
- 20) 毛見虎雄、“碎石コンクリートの施工法”、建築技術、No. 200、pp. 173～185、昭和43年4月。
- 21) 柳田 力、“碎石および碎石コンクリート”、コンクリートジャーナル、第7巻、第9号、pp. 45～54、昭和44年9月。
- 22) 伊東茂富・磯崎正晴・養王田栄一、“舗装用コンクリートの単位水量および単位粗骨材容積について”、セメントコンクリート、No. 232、pp. 2～7、昭和41年6月。
- 23) 水野高明・石川達夫・谷脇鉄男・松下博通、“碎石コンクリートのワーカビリティに関する実験”、第23回土木学会年次学術講演会概要、N-55、pp. 147～150、昭和43年。
- 24) 谷口一昭、“碎石、減水剤およびフライアッシュを使用したコンクリートの配合に関する一実験”、セメントコンクリート、No. 256、pp. 17～28、昭和43年6月。



港湾技研資料 No. 145

1972・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.