

## データ解析によるコンクリートの品質変化と その要因に関する研究

### STUDIES ON CONCRETE QUALITY CHANGE AND RELATED FACTORS BASED ON DATA ANALYSES

豊福俊泰\*

By Toshiyasu TOYOFUKU

The objectives of this study are to analyze factors which are considered to affect concrete quality changes and to develop adequate concrete quality control system based on data analyses. The data used in this study are mainly those of the concrete placed in expressway construction works and commonly ready-mixed concrete placed all over Japan.

Through a lot of large amount of data analyses, it became evident that concrete qualities became deteriorative or multifarious with range throughout Japan due to producing equipment, quality control system, aggregate condition, regional difference and so on. Comments are also made on those particular factors for more reasonable concrete quality control system.

*Keywords : ready-mixed concrete, quality control, aggregate, mix proportion, concrete quality*

#### 1. まえがき

周知のように、近年、コンクリート構造物の早期劣化あるいは耐久性低下の問題に関して多数の報告がされた。この主な原因として、わが国における建設事業の変遷に伴い、使用材料および施工法が多様化したことが挙げられる。特に、コンクリート用骨材資源は、良質な河川産骨材の供給が減少し、骨材の種類が多様化したため、これに伴いコンクリートの品質（圧縮強度、乾燥収縮、耐凍害性等）も多様化したものと推察されるが、骨材品質あるいは品質管理（Quality Control、以後、QCとよぶ）がコンクリート品質に及ぼす影響を、全国的な規模で考察するという観点からの研究は、皆無に近い。

レデーミクストコンクリート（以後、生コンとよぶ）が商品化され始めたのは昭和24年11月のことであり、昭和28年11月にはJIS A 5308「レデーミクストコンクリート」<sup>1)</sup>が制定された。また、土木学会コンクリート標準示方書では、昭和32年改訂においてコンクリートのQCに関する事項が、初めて定められた<sup>2)</sup>。その後、わが国の高度成長に伴う建設工事の増大とともに、生コン

業界は驚異的に発展を遂げ、製造工場も全国に飛躍的に増大してきた。昭和63年3月末現在では、5354工場（このうちJIS工場は3868工場で全体の72.2%）に達しており、年間約1億7800万m<sup>3</sup>のコンクリートが生産されている。これに伴い、現場プラントによるコンクリートの製造は、特殊な条件下のみに限定されているのが現状である<sup>3)</sup>。

このように、今日、コンクリート工事では、生コンの使用が一般化しており、コンクリートのQCは生コンの製造管理に依存するところがきわめて大きい。しかるに、JIS生コンは、品質規格が荷おろし地点における規格であり、材料の選定から配合の決定、練りませ、運搬に至る一連の製造過程は、生産者（生コン工場）の自主管理に任せられているため、当然、各工場のQC体制により、出荷されるコンクリートの品質に格差が生じているものと推察される。これに対し、日本道路公団（以後、公団とよぶ）では、工事発注前のコンクリート調査～工事中の施工管理試験～工事竣工後の検査まで、QCの流れを一貫して行うものとし、生コン工場および現場プラントのいずれで製造されたコンクリートも、同一の要領類に基づき施工管理を行ってきた<sup>4)～6)</sup>。これらには、JIS生コンの規格を補足して、コンクリートのQCおよび検査を行う方法を定めており、ほぼ一定水準にコンクリート

\* 正会員 工博 日本道路公団大阪管理局技術部調査役  
(前・日本道路公団試験所コンクリート試験室室長)  
(〒565 吹田市清水15-1)

品質が確保されているものと推察される。

本研究は、以上のことから、公団の高速道路や一般有料道路の建設（土木）工事で打設されたコンクリートおよび一般的な生コンの品質調査を行った結果等から<sup>7)~12)</sup>など、わが国におけるコンクリート品質の変遷とその要因をデータ解析し、今後のQC技術向上のため検討を加えたものである。

## 2. 調査内容

### (1) コンクリート試験調査

コンクリート試験調査（以後、調査Ⅰとよぶ<sup>12)</sup>）は、全国の公団各機関で行われた各種のコンクリート試験（室内試験。昭和46年度から昭和60年度までに実施された合計75報告書から引用）結果を対象とした。

調査内容は、材料の品質、配合条件、試験練り結果等で、実際の工事で使用されない低品質骨材を用いた試験結果を含む。

### (2) 公団の建設工事打設コンクリートの品質調査

公団の建設工事打設コンクリートの品質調査（以後、調査Ⅱとよぶ<sup>12)</sup>）は、公団が現在供用中・施工中の高速自動車道および一般有料道路の土木工事において打設されたコンクリート（以後、公団コンとよぶ）を対象とした。

調査は、生コン工場の普及が十分ではなかった昭和33~40年に施工された名神高速道路の建設工事（以後、名神とよぶ）に用いられたコンクリート、骨材資源の多様化が始まった昭和40~44年に施工された東名高速道路の建設工事（以後、東名とよぶ）に用いられたコンクリート、それ以後昭和60年度竣工まで全国の道路建設工事（以後、それぞれ〇年度竣工とよぶ）に用いられたコンクリートについて、それぞれ行った<sup>7)など</sup>。調査Ⅱのデータは、年度ごとに工事箇所が変わるために同一箇所のコンクリート品質の変遷を表わしていないが、全国ベースでの工事であることから、全体的には全国からの無作為サンプリングデータと同等とみなされる。

調査方法は、既往の資料および工事竣工後報告されるコンクリート打設結果報告書<sup>6)</sup>の集計によって行った。調査内容は、工事概要、材料の品質、配合条件、試験練り結果、示方配合、管理試験結果等とした。調査配合は、表-1に示す19配合であり、同表の（ ）内に示す種別は公団の仕様書類<sup>4)~6)</sup>での名称で、たとえばA<sub>1-1</sub>においてAは打ち込まれるコンクリートの構造物の種別を、添え字<sub>1-1</sub>は最初が粗骨材の最大寸法または構造物の種類、次がセメントの種類を表わす。

### (3) 生コンの品質調査

生コンの品質調査（以後、調査Ⅲとよぶ<sup>12)</sup>）は、公団が現在計画中・施工中・管理中の高速自動車道および一

般有料道路の沿線を重点に選定した全国の生コン工場を対象とし、昭和53年度（以後、53年生コンとよぶ）および昭和61年度（以後、61年生コンとよぶ）に調査を行った<sup>8)~11)</sup>など。

調査方法はアンケート方式とし、53年生コンは、選定した500工場に対して昭和53年6月に依頼し、同年8月までに432工場（全生コン工場数4808の9.0%，全JIS生コン工場数2554の16.4%）から回答を得た。61年生コンは、昭和61年7月に依頼し、全国5306の生コン工場のうち560工場（各都道府県ごとに約10工場、図-1参照）から回答を得た。調査内容は、公団コンと対比ができるかつ土木用コンクリートの全体を代表するように、表-1のうちから配合1(A<sub>1-1</sub>)、4(B<sub>1-1</sub>)、6(B<sub>2-1</sub>)、9(C<sub>2-1</sub>)、13(P<sub>2-2</sub>)、15(T<sub>1-1</sub>)、16(X<sub>1-1</sub>)、18(H<sub>1-1</sub>)を選定し、これに相当する標準品について材料の品質、配合条件、試験練り結果、示方配合、出荷実績等とした。

### (4) 日常管理試験調査

日常管理試験調査（以後、調査Ⅳとよぶ）は、公団の常磐自動車道建設工事（13工事）において打設されたコンクリートの日常管理試験結果を対象とした。出荷工場は、関東地域の9工場（図-1のA~I工場、昭和55年9月~60年4月の期間）であり、調査内容は骨材の粒度、表面水率、計量値、強度等の日間変動である。

### (5) 集計方法

集計方法は、調査結果を公団試験所の大型電算機ACOS-650に入力し、記入ミスやW/C等の計算ミスを排除するため全データをデータチェックおよびデータ処理した変換値を、集計・解析した。

## 3. 調査結果および考察

### (1) コンクリート種別の打設量（調査Ⅱ・調査Ⅲ）

調査Ⅱの結果からコンクリート種別のデータ数および打設量を比較すると、一例として57~58年度竣工（図-1参照）について、表-1に示す。バッティングプラントの内訳としては、57年度竣工の場合生コン工場143（全体の97.9%，このうちJIS工場138、JIS以外の工場5），現場プラント3，58年度竣工の場合生コン工場123（全体の98.4%，このうちJIS工場119、JIS以外の工場4），現場プラント2が使用されており、調査された年間の打設量は約300万m<sup>3</sup>である。

データ数が多い配合は、配合4(B<sub>1-1</sub>)、2(B<sub>0-1</sub>)、6(B<sub>2-1</sub>)、9(C<sub>2-1</sub>)、8(C<sub>1-1</sub>)、14(P<sub>3-2</sub>)、17(Y<sub>1-1</sub>)、13(P<sub>2-2</sub>)、15(T<sub>1-1</sub>)の順で、また打設量が多い配合は、配合4(B<sub>1-1</sub>)、6(B<sub>2-1</sub>)、15(T<sub>1-1</sub>)、2(B<sub>0-1</sub>)、9(C<sub>2-1</sub>)、17(Y<sub>1-1</sub>)、13(P<sub>2-2</sub>)、8(C<sub>1-1</sub>)の順であり、一般的のRC構造物用である配合4(B<sub>1-1</sub>)が最も代表的なコン

表一 調査配合（調査II）

コンクリートの種別 打込まれるコンクリート構造物の種別 配合（コンクリート）	注1)	配合条件								57・58年度竣工	
		材令28 $f_{c28}$ 日あたり 強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) 注2)	スランプ SL (cm) 注2)	空気量 A (%) 注2)	粗骨材 の最大 寸法 G <sub>m</sub> (mm)	セメント の種類 注3)	単位セメント量 C (kg/m <sup>3</sup> ) 注4)	混和剤 の種類 注5)	目標強度 $f_{c28}$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) 注5)	データ数 n (個)	平均打設量 (m <sup>3</sup> )
1 (A <sub>1-1</sub> )	G	300	8±2.5	4±1	20, 25	N	(320), 320, 350, 380	w, aw	356	42	372
2 (B <sub>0-1</sub> )	S	240	8±2.5	4±1	20, 25	N	(300), 300, 300, 320	w, aw	284	285	2067
3 (B <sub>0-2</sub> )	S	240	8±2.5	4±1	20, 25	H	(300), 300, 300, 320	w, aw	284	11	1177
4 (B <sub>1-1</sub> )	R	240	8±2.5	4±1	20, 25	N	(290), 280, 300, 320	w, aw	284	327	6171
5 (B <sub>1-2</sub> )	R	240	8±2.5	4±1	20, 25	H	(290), 280, 300, 320	w, aw	284	27	3327
6 (B <sub>2-1</sub> )	K	240	8±2.5	4±1	40	N, B	(280), 270, 280, 300	w, aw	284	242	4153
7 (B <sub>2-2</sub> )	K	240	8±2.5	4±1	40	H	(280), 270, 280, 300	w, aw	284	2	106
8 (C <sub>1-1</sub> )	C	180	8±2.5	4±1	20, 25	N, B	(240), 230, 240, 250	w, aw	219	191	1191
9 (C <sub>2-1</sub> )	C	180	8±2.5	4±1	40	N, B	(240), 230, 240, 250	w, aw	219	241	1463
10 (D <sub>1-1</sub> )	D	—	—	—	40	N, B	(215), 210, 210, 220	—	—	31	2270
11 (N <sub>1-1</sub> )	N	180	20±2.5	4±1	20, 25	N, B	(—), 280	w, aw	180	11	1330
12 (P <sub>1-2</sub> )	P	450	7±1.5	4±1	20, 25	H	(450), 440, 470, 500	w, aw	522	0	0
13 (P <sub>2-2</sub> )	P	400	7±1.5	4±1	20, 25	H	(400), 400, 430, 460	w, aw	484	97	2428
14 (P <sub>3-2</sub> )	P	350	7±1.5	4±1	20, 25	H	(350), 350, 380, 410	w, aw	406	130	982
15 (T <sub>1-1</sub> )	T	180	15±2.5	4±1	40	N, B	(270), 270, 270, 280	w, aw	219	61	16165
16 (X <sub>1-1</sub> )	W	225	15±2.5	4±1	40	N, B	(370), 370	w, aw	267	9	579
17 (Y <sub>1-1</sub> )	W	300	15±2.5	4±1	20, 25	N, B	(370), 370	r, ar	356	128	2567
18 (H <sub>1-1</sub> )	H	曲げ45	1.5±1	4±1	40	N, H, M, P	(320), 300, 320, 350	w, aw	曲げ50.0	25	4357
19 (H <sub>2-1</sub> )	H	曲げ45	5±1.5	4±1	40	N, H, M, P	(350), 310, 330, 350	w, aw	曲げ50.0	27	1983

注1) G: 合成桁の床版、S: 一般の床版、R: 鋼筋コンクリート構造物、K: 橋梁下部工の基礎（フーチング）、C: 無筋コンクリート構造物、D: 捨てコンクリート、N: ニューマチックケーンの中埋め、P: プレストレスコンクリート構造物、T: トンネルの覆工、W: 橋梁下部工の基礎（水中コンクリート）、H: セメントコンクリート舗装版

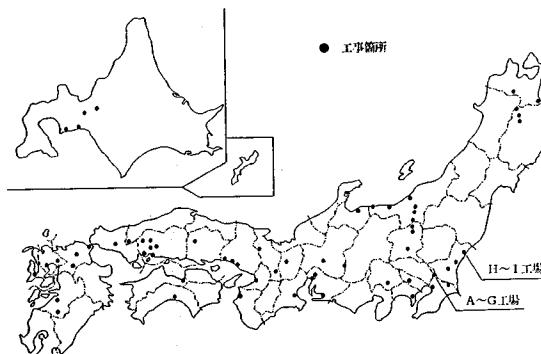
注2) コンクリートの打込み箇所における値である。なお、打込み箇所とは、コンクリートを型わくに打込んだ直後で締固める前の箇所をいう。

注3) N: 普通ポルトランドセメント、H: 早強ポルトランドセメント、B: 高炉セメントB種、M: 中庸熟ポルトランドセメント、P: 舗装用セメント

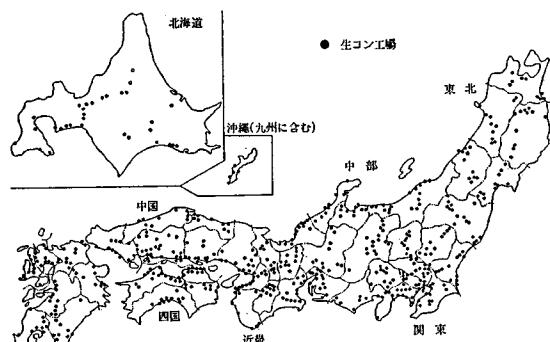
注4) ( ) 内は昭和52年度発注工事までの単位セメント量

注5) w: 減水剤、aw: AE減水剤、r: 遅延型減水剤、ar: 遅延型AE減水剤

混和剤使用量: (各減水剤または遅延型減水剤の標準使用量) + (所要の空気量に適合するAE剤の使用量)



a) 調査II（昭和57～58年度竣工）



b) 調査III

図一 調査箇所

クリートといえる。なお、調査IIIでも同様の傾向を示している。全体的な品質は、材令28日における圧縮強度  $f_{c28}=186 \sim 508 \text{ kgf/cm}^2$ 、スランプ  $SL=3.0 \sim 21.3 \text{ cm}$ 、空気量  $A=3.0 \sim 4.7\%$  のコンクリートであり、道路工事に用いるコンクリートの出現頻度を代表しているとみなされる。

そこで、以下、配合4 ( $B_{1-1}$  生コンの場合、これに相当する標準品) に使用された材料およびコンクリートを代表に検討を進める。

## (2) 使用材料（調査II・調査III）

### a) セメント

セメントの品質は、名神・東名の頃と比較して、47~

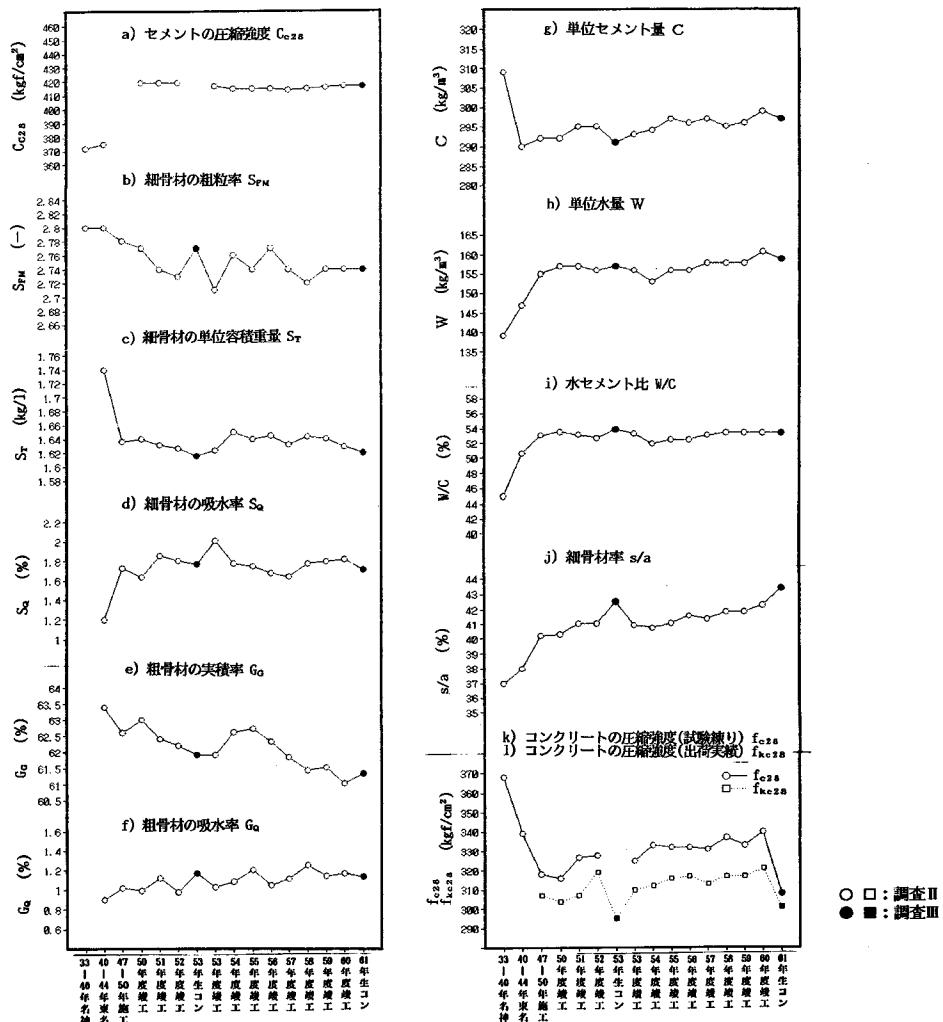
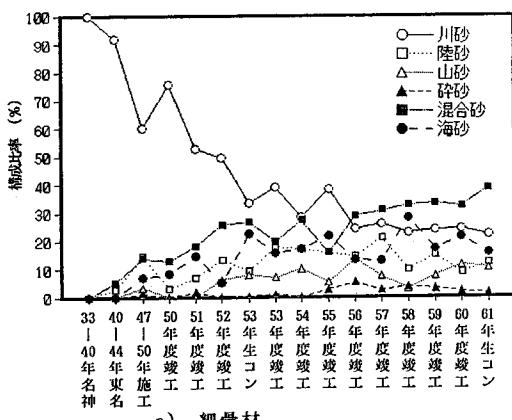
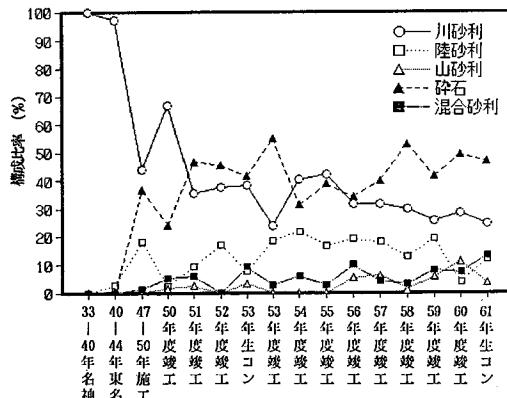


図-2 使用材料・コンクリートの品質の推移（調査Ⅱ、調査Ⅲ）



a) 細骨材



b) 粗骨材

図-3 使用骨材の種類の推移（調査Ⅱ、調査Ⅲ）

50年以降比重が3.15から3.16に、粉末度が横ばいであり、圧縮強度が約40 kgf/cm<sup>2</sup>増加している（図-2参照）。

### b) 骨材の種類の推移

使用骨材の種類の推移は、図-3に示すとおりである。名神ではすべて川砂・川砂利が用いられたが、昭和30年代後半からのわが国の経済的発展と建設事業の拡大は、良質な河川産骨材の枯渇化をもたらし、昭和41年には建設省が「河川砂利対策要綱」をもとに、河川砂利用途規制や碎石への積極的転換の行政指導を始めた。しかし、東名では河川産骨材の需給事情に恵まれていたため、わずかながら陸掘り骨材、山砂との混合砂等が用いられたにすぎない。昭和40年代後半から50年代にかけては、高速道路の建設が全国に展開したが、コンクリート用骨材を取り巻く社会情勢から使用骨材の多様化が進み、細骨材では、陸砂、山砂、海砂あるいはこれらの混合砂の使用比率が高くなり、50年代半ばには川砂の減少に呼応して混合砂の構成比率が逆転し、それ以後もこの傾向が進行している。これに対し粗骨材では、川砂利が減少したのに伴い碎石が多用され、陸砂利、山砂利も使用されるようになり、50年代に入ると川砂利と碎石の構成比率が逆転し、50年代後半より川砂利・陸砂利

の減少と碎石の増加傾向がみられる。図-3にこの傾向がよく表われており、61年生コンにおいては、細骨材の場合川砂の構成比率が21.8%に低下したのに対して、混合砂および海砂の構成比率がそれぞれ38.9%および15.4%まで増加しており、また、粗骨材の場合、川砂利および碎石の構成比率がそれぞれ24.5%および46.7%と、碎石の比率が増加している（後述の表-4参照）。

細・粗骨材を比較すると、河川産骨材の減少に伴い、粗骨材は碎石・陸砂利がその主な代替骨材となったのに対し、細骨材は代替骨材として山砂・陸砂・海砂等の単体の他、混合砂の比率が著しく高い。これは、川砂の代替骨材の品質（粒度・粒形、含有塩分量等）が単体では問題となることが多いこと、粒度調整が粗骨材に比べ困難なこと、および碎石の副産物である碎砂の利用等が理由として挙げられる。このように、河川産骨材の減少に伴い骨材の多様化が進んだが、とりわけ細骨材は混合砂の比率が高く、多様化が著しい。

### c) 骨材の品質の推移

使用骨材の品質は、以上のような骨材資源の変貌に伴い、図-2に示すように推移している。名神・東名の河川産骨材が主体の頃と比較して、昭和47年以降には使

表-2 細骨材種別の品質（調査Ⅲ）

項目	粗粒率 S <sub>R</sub> (%)				洗い試験で失われる ものの S <sub>A</sub> (%)				実積率 S <sub>G</sub> (%)				単位容積重量 S <sub>T</sub> (kgf/l)				比 S <sub>H</sub> (-)				吸水率 S <sub>G</sub> (%)				
	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	
川砂	2.78	0.11	2.99	2.34	1.5	0.6	2.8	0.1	64.3	2.0	71.6	57.8	1.637	0.061	1.840	1.450	2.59	0.03	2.71	2.52	1.79	0.58	3.58	0.65	
砂利	2.73	0.11	3.00	2.45	1.3	0.6	2.8	0.2	63.5	2.3	70.2	60.8	1.658	0.075	1.880	1.520	2.59	0.04	2.75	2.52	1.82	0.65	3.26	0.50	
山砂	2.74	0.15	2.91	2.04	1.7	0.5	2.8	0.4	64.7	1.8	69.4	60.7	1.638	0.054	1.780	1.540	2.57	0.02	2.62	2.52	1.66	0.39	2.73	1.04	
海砂	2.70	0.09	2.88	2.50	1.1	0.5	2.5	0.3	61.9	2.1	67.9	57.0	1.588	0.088	1.800	1.420	2.58	0.03	2.68	2.52	1.65	0.37	2.80	1.11	
碎石	2.80	0.07	2.92	2.74	1.8	1.7	4.8	0.2	64.6	4.3	72.5	58.6	1.885	0.127	1.920	1.570	2.64	0.06	2.73	2.56	1.33	0.65	2.30	0.46	
混 合	川+陸	2.72	0.10	2.95	2.50	1.5	0.5	2.9	0.3	63.8	1.8	67.3	60.0	1.616	0.053	1.730	1.505	2.58	0.02	2.65	2.54	1.74	0.44	2.93	1.02
	川+山	2.73	0.10	2.97	2.53	1.4	0.6	2.4	0.2	63.5	2.1	66.2	62.7	1.604	0.054	1.680	1.430	2.57	0.03	2.62	2.52	1.69	0.60	2.38	0.13
	川+海	2.77	0.11	3.05	2.57	1.4	0.4	2.0	0.4	63.8	1.8	67.2	61.1	1.634	0.053	1.745	1.520	2.60	0.03	2.84	2.54	1.59	0.39	2.35	1.04
	山+陸	2.78	0.07	2.89	2.62	2.3	0.9	4.7	1.1	64.8	2.5	68.9	61.5	1.685	0.068	1.760	1.550	2.61	0.03	2.65	2.57	1.75	0.49	2.75	0.83
	山+山	2.71	0.11	2.94	2.45	1.6	0.5	2.6	0.7	64.5	2.1	68.7	61.6	1.625	0.080	1.745	1.530	2.57	0.02	2.61	2.54	1.98	0.57	3.12	1.29
	山+海	2.79	0.10	2.89	2.60	1.5	0.5	2.1	0.9	64.4	1.4	66.4	62.9	1.632	0.044	1.690	1.573	2.58	0.04	2.64	2.54	1.90	0.52	2.79	1.29
	山+碎	2.71	0.11	2.88	2.42	1.9	0.9	3.7	0.8	63.5	1.5	65.9	60.8	1.629	0.054	1.710	1.557	2.61	0.04	2.68	2.55	1.64	0.40	2.34	1.30
	山+砂	2.76	0.11	2.90	2.57	1.7	0.4	2.1	1.0	63.2	2.5	69.0	59.6	1.586	0.071	1.730	1.470	2.55	0.02	2.60	2.50	1.85	0.37	2.80	1.30
	山+碎	2.72	0.10	2.88	2.30	1.9	0.8	3.8	0.4	63.3	1.9	67.9	59.9	1.625	0.056	1.750	1.530	2.61	0.03	2.85	2.57	1.57	0.34	2.14	1.10
	海+碎	2.73	0.11	3.05	2.30	1.7	0.7	4.7	0.2	63.6	2.0	69.0	58.2	1.817	0.057	1.788	1.480	2.59	0.06	2.82	2.54	1.71	0.46	2.25	0.73
全 体	2.74	0.11	3.05	2.04	1.5	0.7	4.8	0.1	63.8	2.3	72.5	56.2	1.621	0.070	1.920	1.420	2.58	0.04	2.82	2.50	1.72	0.50	3.56	0.13	

注) データ数は表-4参照。 x : 平均値 x<sub>a</sub> : 標準偏差 x<sub>max</sub> : 最大値 x<sub>min</sub> : 最小値

表-3 粗骨材種別の品質（粗骨材の最大寸法25 mm, 調査Ⅲ）

項目	実積率 G <sub>G</sub> (%)				単位容積重量 G <sub>T</sub> (kgf/l)				比 G <sub>H</sub> (-)				吸水率 G <sub>G</sub> (%)				軟らかい石片 G <sub>V</sub> (%)				安定性 G <sub>D</sub> (%)				
	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	X	x <sub>a</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>min</sub>	
川砂利	63.5	1.4	67.7	60.4	1.655	0.048	1.827	1.549	2.64	0.04	2.80	2.49	1.24	0.54	3.58	0.48	1.9	1.3	7.4	0	4.8	0.3	14.8	0.3	
砂利	64.0	1.5	68.2	60.0	1.652	0.049	1.810	1.540	2.82	0.04	2.73	2.52	1.49	0.72	3.83	0.30	2.7	2.8	19.3	0	4.6	0.24	11.2	0	
砂利	63.9	1.8	66.6	60.3	1.647	0.047	1.715	1.550	2.80	0.01	2.65	2.59	1.11	0.39	1.73	0.45	2.4	2.4	4.5	0.1	4.4	1.8	9.0	1.0	
砂利	65.1	1.3	63.4	56.1	1.580	0.060	1.770	1.480	2.70	0.09	3.05	2.52	1.00	0.55	2.74	0.25	1.2	1.3	8.1	0	3.7	2.0	12.8	0	
混 合	川+陸	62.8	1.2	64.1	61.4	1.636	0.039	1.878	1.570	2.64	0.03	2.68	2.60	1.33	0.33	1.66	0.90	2.0	1.2	4.3	1.1	4.5	1.7	6.7	1.5
	川+山	63.9	1.2	65.5	62.7	1.665	0.021	1.690	1.840	2.64	0.03	2.68	2.61	1.45	0.63	2.42	1.10	2.7	1.2	4.4	1.9	5.3	3.6	10.3	1.8
	川+海	62.0	1.3	64.6	58.5	1.627	0.037	1.678	1.545	2.65	0.03	2.70	2.60	0.58	0.27	1.58	0.42	1.6	1.2	3.9	0	4.0	1.8	8.1	0.3
	山+陸	62.1	1.4	64.4	60.1	1.625	0.041	1.705	1.580	2.65	0.02	2.68	2.60	1.05	0.38	1.77	0.64	2.5	1.2	3.8	0	4.8	2.3	8.4	1.4
	山+山	60.7	1.3	62.3	58.1	1.586	0.038	1.620	1.510	2.64	0.01	2.66	2.62	0.83	0.20	1.18	0.50	1.8	1.2	3.3	0.3	3.7	2.7	6.3	0.7
	山+碎	60.4	2.4	62.1	58.7	1.615	0.036	1.640	1.589	2.69	0.04	2.72	2.68	0.58	0.21	0.70	0.41	0.8	0.4	1.0	0.5	3.0	0.8	8.5	2.4
	山+碎	62.0	1.5	65.5	58.1	1.624	0.040	1.705	1.510	2.65	0.03	2.72	2.60	1.04	0.38	2.42	0.41	1.8	1.3	4.7	0	4.2	2.1	10.3	0.3
全 体	61.3	2.5	68.2	56.1	1.616	0.063	1.827	1.460	2.87	0.08	3.05	2.49	1.13	0.57	3.63	0.25	1.7	1.6	19.3	0	4.2	2.3	14.8	0	

注) データ数は表-4参照

用骨材の多様化に伴い、細骨材では粗粒率、実積率、単位容積重量、比重が小さく吸水率が大きくなっている、粗骨材では単位容積重量、粗粒率、実積率が小さく吸水率、比重が大きくなっている、粗骨材の比重以外はいずれも品質が低下している。すなわち、コンクリートの乾燥収縮（単位水量）の増加あるいは強度、ヤング係数、耐凍害性の低下の原因となる側に、変化している<sup>13)</sup>。

また、40年代後半以降のここ10数年間は、平均値で比較する限り品質はわずかながら低下傾向にあるがほぼ横ばいとなっている。これは、前述のように、細骨材については、単体で使用できる良質骨材が減少したのを混合使用によってかろうじて品質低下が補われており、また粗骨材の場合、角張りが多く粒形が劣るが結じて材質が良い碎石の使用によって、品質低下が補われているものとみなされる。しかし、使用骨材の多様化に伴い骨材品質の分布範囲が広くなっている。

#### d) 骨材の種類別の品質

骨材の種類別の品質は、61年生コンの場合、表-2および表-3に示すとおりである。

細骨材についてみると、品質が良いとみなされている川砂は、全体的には良い傾向となっているが、陸砂とともに吸水率が大きく材質の低下が認められる。海砂は、川砂、陸砂、山砂に比べて比重、単位容積重量、実積率が小さく品質が悪いが、吸水率、粗粒率、洗い試験で損なわれるもの（以後、洗い損失とよぶ）は小さく品質が良い傾向にある。碎砂は、比重、単位容積重量が大きく、吸水率が小さくて材質が良いが、粗粒率、洗い損失が大きくて単位水量を増加させる傾向にある。混合砂については、海砂の混合は塩分調整が主目的と考えられるが、結果的に単位容積重量が大きくなり品質が改善され

ていること、碎砂の混合は比重、洗い損失が大きくなっていることなどの特徴が認められる。川砂の品質を、ほとんどが川砂であった東名と比べると（図-2参照）、いずれの項目も品質が悪い側にあり、川砂であっても品質が低下していることがわかる。

粗骨材では、川砂利、陸砂利、山砂利に対し碎石は、単位容積重量、実積率が小さく粒形が悪いが、比重、吸水率、安定性、軟石量が小さく材質については、良い品質となっている。混合砂利は、碎石を混合したものは、碎石単体と比べ単位容積重量、実積率が大きくなっている、品質が改善されている。川砂利の品質を、ほとんどが川砂利であった東名と比べると（図-2参照）、比重が小さく、吸水率が大きく品質が悪い側にあり、川砂と同様に川砂利であっても品質が低下している。

### (3) コンクリート（調査II・調査III）

#### a) コンクリートの品質の推移

コンクリートの品質の推移は、同様に配合4(B<sub>1-1</sub>)の場合について比べると図-2に示したとおりである。使用骨材の推移に伴い、名神・東名の頃と比較して、それぞれ単位水量が約20、10 kg/m<sup>3</sup>増加し、細骨材率が約4.2%増加しており、昭和40年代後半以降もわずかではあるが前者が1~2 kg/m<sup>3</sup>、後者が1~2%増加傾向にある。この原因は、前述のように粒形が良い河川産骨材が減少し、角張りや偏平が多い碎石や海砂が増加し骨材が多様化したためであり、コンクリートのワーカビリティを同じにするためには、単位水量を増加し、細骨材率を増加させる必要があることによる。圧縮強度は、目標強度によても変わるが、ほぼ横ばいであり、これに伴って水セメント比もほぼ横ばいとなっており、単位セメント量は単位水量と同様にわずかに増加傾向にある。

表-4 細骨材と粗骨材の種別ごとの組合せ（調査III）

粗骨材 細骨材	川砂	陸砂	山砂	海砂	碎砂	混 合 砂									合 計			
						川+陸	川+山	川+海	川+碎	陸+山	陸+海	陸+碎	山+海	山+碎	海+碎			
川砂利	93 (16.9)	9 (1.6)	2 (0.4)	1 (0.2)	1 (0.2)	9 (1.6)	7 (1.3)	8 (1.5)	4 (0.7)	0 1 (0.2)	0 5 (0.9)	0 3 (0.5)	0 1 (0.2)	1 0 (0.2)	0 0 (0.2)	29 (5.3)	135 (24.5)	
陸砂利	4 (0.7)	38 (6.9)	2 (0.4)	0 0	0 0	9 (1.6)	1 (0.2)	0 0	0 0	0 0 (0.2)	0 0 (0.5)	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	21 (3.8)	65 (11.8)	
山砂利	0 0	0 0	20 (3.6)	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0 (0.2)	0 0 (0.5)	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	20 (3.6)	
碎石	17 (3.1)	14 (2.5)	22 (4.0)	82 (14.9)	6 (1.1)	8 (1.5)	5 (0.9)	5 (0.8)	5 (0.9)	16 (2.9)	3 (0.5)	13 (2.4)	11 (2.0)	14 (2.5)	36 (6.5)	116 (21.1)	257 (46.7)	
川+陸	0 0	0 0	0 0	1 (0.2)	0 0	5 (0.9)	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	5 4 (0.9) (0.7)	6 4 (1.1) (0.7)	
川+山	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	4 (0.7)	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	
混 合	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	
川+海	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	
川+碎	5 (0.9)	3 (0.5)	5 (0.9)	1 (0.2)	0 0	11 (2.0)	2 (0.4)	5 (0.8)	4 (0.7)	0 0	0 0	0 0	0 0	1 0 (0.2)	1 0 (0.2)	25 25 (4.5) (4.5)	39 39 (7.1) (7.1)	
砂	1 (0.2)	3 (0.5)	2 (0.4)	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	
陸+碎	0 0	0 0	4 (0.7)	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	
利	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	
山+碎	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	
海+碎	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0 (0.2)	0 0 (0.2)	
小計	6 (1.1)	6 (1.1)	11 (2.0)	2 (0.4)	0 0	18 (3.3)	10 (1.8)	6 (1.1)	4 (0.7)	1 (0.2)	0 0	0 0	0 0	4 (0.7)	1 (0.2)	2 (0.4)	48 (8.7)	73 (13.3)
全 体	120 (21.8)	67 (12.2)	57 (10.4)	85 (15.4)	7 (1.3)	44 (8.0)	23 (4.2)	19 (3.5)	14 (2.5)	22 (4.0)	6 (1.1)	18 (3.3)	14 (2.5)	16 (2.9)	38 (8.9)	214 (38.9)	550 (100)	

注) 上段：工場数、下段：構成比率 (%)

## b) 骨材品質（種別）とコンクリート品質

表-4は、61年生コンを例に使用される細骨材と粗骨材との組合せを示したものであり、骨材事情から生コン工場によって多様である。組合せが多い順は、川砂と川砂利 16.9%，海砂と碎石 14.9%，陸砂と陸砂利 6.9%，海砂・碎砂混合砂と碎石 6.5%，山砂と碎石 4.0%，山砂と山砂利 3.6%，川砂と碎石 3.1%，陸砂・山砂混合砂と碎石 2.9%…となっており、各種混合砂と碎石が 21.1%で最も多い。全体的には細・粗骨材の採取産地が同じ組合せが多いが、碎石については、全国的に使用されているため、組合せが多様であり全体の約 1/2 を占めている（図-4 参照）。

そこで、細・粗骨材の品質がコンクリートの品質に及ぼす影響を検討するため、粗骨材の種類別と配合・強度との関係を表-5に示す。碎石を使用したコンクリートは、川砂利、陸砂利、山砂利を使用したものに比べ、単位セメント量、単位水量ともに多く、水セメント比も大きい。これは、碎石の粒形が角張りが多く流動性が悪いため、所要のスランプを得るために必要な水量が多くなるが、骨材表面とセメントペーストとの付着が良く、比重、吸水率などの材質についても品質が良いものが砂利よりも多いため、水セメント比が少々大きくなる所要の強度が

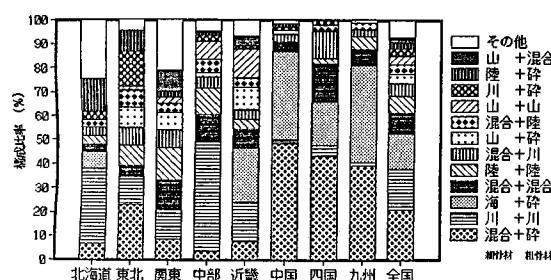
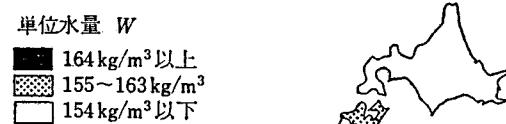
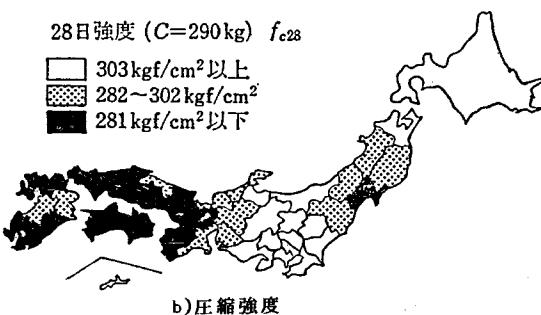


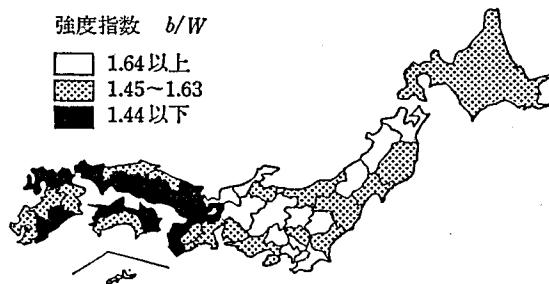
図-4 地方別の骨材の組合せ（調査Ⅲ）



a) 単位水量



b) 壓縮強度



c) 強度指数

図-5 コンクリート品質の全国分布（県別、調査Ⅲ）

表-5 骨材の種類とコンクリートの品質（配合 4・B<sub>1-1</sub>相当の生コン標準品、調査Ⅲ）

区分	粗骨材	細骨材	項目	粗骨材の最大寸法 G <sub>m</sub> (mm)			単位セメント量 C (kg/m <sup>3</sup> )			単位水量 W (kg/m <sup>3</sup> )			水セメント比 W/C (%)			細骨材率 s/a (%)			試験練り時圧縮強度 f <sub>c28</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )					
				データ数 n (個)			X	X <sub>a</sub>	X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub>	X	X <sub>a</sub>	X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub>	X	X <sub>a</sub>	X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub>	X	X <sub>a</sub>	X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub>		
				注1)	注2)	注3)	注4)	注5)	注6)	注7)	注8)	注9)	注10)	注11)	注12)	注13)	注14)	注15)	注16)	注17)	注18)	注19)		
調査Ⅲ	砂利	普通	25																					
	川砂利	川砂	93	25	0	25	25	288	13	318	259	152	6	184	136	52.8	2.1	56.9	47.9	42.1	2.0	47.3	36.9	305
	川砂利	混合砂	29	25	1	25	20	291	14	316	266	153	7	189	141	52.4	1.9	58.0	49.3	41.7	2.0	45.4	36.6	299
	陸砂利	陸砂	38	25	0	25	25	287	15	315	255	150	5	180	140	52.3	2.3	56.0	47.0	41.8	1.9	45.4	37.4	304
	陸砂利	混合砂	21	25	2	25	20	293	13	317	272	153	6	162	143	52.4	2.1	57.0	49.0	42.5	2.0	46.9	37.5	303
	山砂利	山砂	20	25	0	25	25	292	12	317	274	152	4	159	140	52.1	1.8	54.9	47.3	41.3	1.8	45.2	38.1	310
	山砂利	混合砂	17	24	2	25	20	306	12	326	275	163	6	176	149	53.3	1.0	55.0	43.4	2.2	46.7	37.3	314	
	山砂利	混合砂	14	24	2	25	20	295	7	324	263	159	7	169	143	53.9	2.3	58.4	44.0	2.0	46.1	40.1	308	
	碎石	川砂	22	22	3	25	20	292	23	325	243	161	6	169	148	55.3	2.9	62.1	50.0	44.4	1.6	47.6	40.6	313
	碎石	山砂	82	20	2	25	20	315	12	340	272	169	5	182	147	53.8	1.5	58.4	50.0	44.6	1.1	46.9	41.0	305
	碎石	混合砂	116	21	2	25	20	306	15	343	251	166	7	182	143	54.2	1.9	50.0	49.0	44.8	1.6	49.5	38.5	310
	混合砂	山砂	11	25	0	25	25	278	10	300	256	153	6	163	146	55.3	1.8	57.4	42.8	1.5	45.7	41.1	310	
	混合砂	混合砂	48	24	2	25	20	290	14	322	262	157	7	170	141	54.0	1.7	58.4	49.8	42.8	2.4	48.1	36.9	309
	全体会	全体	550	23	2	25	20	297	18	343	243	159	10	182	136	53.5	2.2	62.4	47.0	43.3	2.3	49.5	35.5	308
	注1)	注2)	注3)	注4)	注5)	注6)	注7)	注8)	注9)	注10)	注11)	注12)	注13)	注14)	注15)	注16)	注17)	注18)	注19)	注20)	注21)	注22)	注23)	注24)

注1) コンクリート標準示方書（施工編）解説表4.8.1の値。普通の粒度の砂（粗粒率2.80程度）。

注2) 粗骨材の最大寸法=20・25mm、スランプ=8cm、n&gt;10の組み合せ。

得られている<sup>13), 14)</sup>。

さらに、碎石を使用したコンクリートを例に、細骨材の種類別と配合・強度との関係を比較すると、細骨材の種類の違いは配合・強度に大きく影響を与えていていることが示されている。陸砂に比べ海砂は、単位水量が平均値で 10 kg/m<sup>3</sup> 多く、単位セメント量も同 20 kg/m<sup>3</sup> 多く、水セメント比が同 0.3 % 少ないにもかかわらず、圧縮強度が同 3 kgf/cm<sup>2</sup> 少なくなっている。混合砂については多様であるが、海砂は混合によって単位セメント量が少なくとも強度が高くなる傾向にあり、品質の改善効果が表わされている。

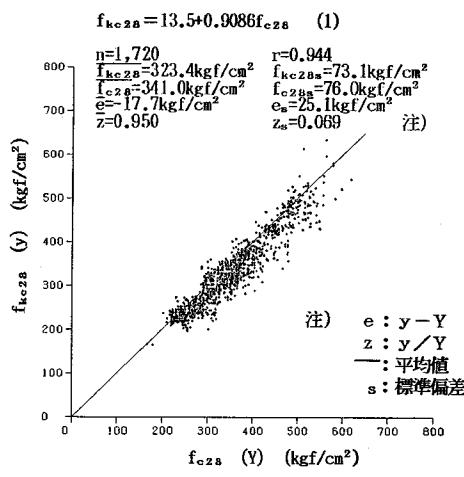
これらのことから、コンクリートの地域格差が生じておき、図-5 に示すように、海砂・碎石を使用する地域の単位水量、単位セメント量が多く、逆に強度指数が小さく、圧縮強度が出にくい傾向が認められる<sup>11), 12)</sup>。ここで、強度指数は、 $f_{c28} = a + b(C/W)$  式の係数の  $b$  を  $W$  で除した ( $b/W$ ) と定義する<sup>11), 12)</sup>。

また、コンクリート標準示方書解説に示される細骨材率と単位水量の大体の標準は、現状と比較して単位水量が 7 kg/m<sup>3</sup>、細骨材率が 4 % 程度低いことが示されており、組み合わせて使用される骨材の種別も多いことを考慮すると、標準値および補正值の改定が必要と考えられる。標準値として表-5 の値、補正值として文献 12) の表-10 の値が参考となろう。

#### (4) QC とコンクリートの品質（調査 I～調査 IV）

##### a) 実際の管理試験結果（出荷実績）の圧縮強度と試験練り（配合設計）時の圧縮強度との関係

図-2 の k) と l) とから、実際の管理試験結果（生コンの出荷実績）の圧縮強度  $f_{kc28}'$  の平均値  $f_{kc28}$  と試験練り（配合設計）時の圧縮強度  $f_{c28}$  との関係を求めるとき、公団コンの場合、前者は後者に対して平均値で 3



a) 公団コンの場合（調査 II）

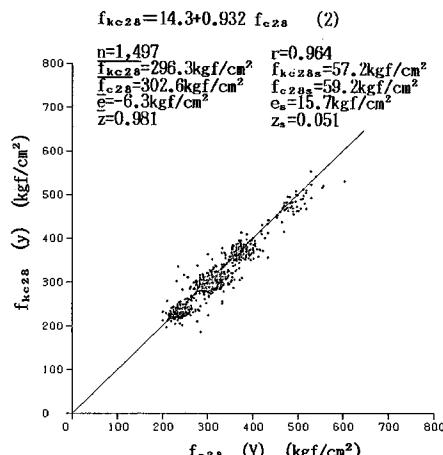
~7 % 程度の比率で強度低下が生じている。57～58 年度竣工を代表にこの関係を求める（図-6 a）および式（1）参照）、 $f_{kc28}$  は  $f_{c28}$  と相関係数  $r=0.944$ 、標準誤差  $e_s=25.1 \text{ kgf/cm}^2$  で高度の相関があり、 $z=f_{kc28}/f_{c28}$  は 1.20～0.67 の範囲内で、平均値で 5.0 % ( $17.7 \text{ kgf/cm}^2$ ) 強度低下している。

一方、生コンの場合、同様に 61 年生コンを代表にこの関係を求める（図-6 b）および式（2）参照）、 $r=0.964$ 、 $e_s=15.7 \text{ kgf/cm}^2$  で高度の相関があり、強度低下の平均値は  $6.3 \text{ kgf/cm}^2$  (1.9 %) となっており、公団コンと比較して約  $11 \text{ kgf/cm}^2$  少ない。ところが、図-2 から、使用材料の品質および水セメント比がほぼ同一にもかかわらず、 $f_{kc28}$ 、 $f_{c28}$  のいずれも公団コンよりも低くなっている。傾向が異なっている。この理由は、次で検討する。

##### b) QC がコンクリート品質に及ぼす影響

図-7 は、調査 I～IV の結果から、普通ポルトランドセメント、粗骨材の最大寸法 20・25 mm、AE 減水剤を使用したコンクリートについて、圧縮強度  $f_{kc28}$ 、 $f_{c28}$  とセメント空隙比  $c/v$  との関係を求めたものである。いずれも相関性が良く、試験練りの場合、公団コンは調査 I の室内試験結果とほぼ合っているが、調査 III の生コンより平均  $31 \text{ kgf/cm}^2$  (8.7 %) 高い。管理試験結果の場合、公団コンは試験練りと比較して 5 % 程度（日常管理試験結果：4.9 %、公団コン：5.2 %）の低下であるのに対し、生コンは 11 % 程度（平均  $38 \text{ kgf/cm}^2$ ）の低下と、低下量が大きくなっている。

この原因としては、出荷時のコンクリート品質が、製造設備および QC の条件によって、試験練り（配合設計）時の強度、すなわち本来あるべきコンクリート品質に対し、品質変動（低下）の格差が生じているものと判断さ



b) 生コンの場合（調査 III）

図-6  $f_{kc28}$  と  $f_{c28}$  との関係

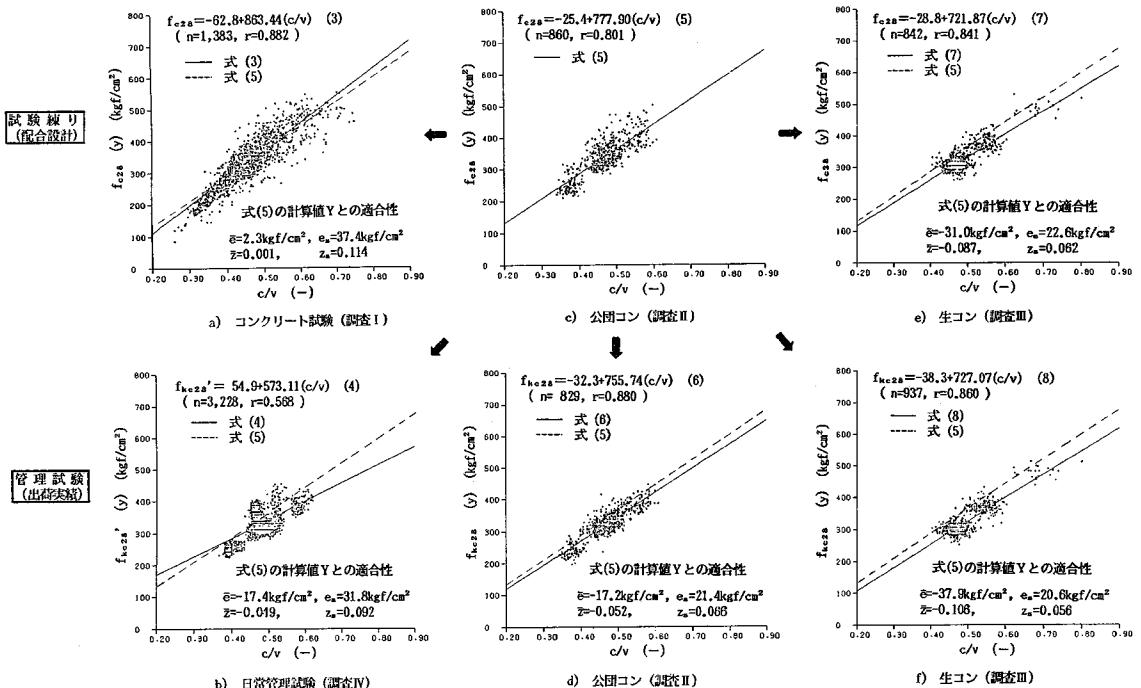


図-7 圧縮強度とセメント空隙比との関係

表-6 生コンプラント検査の指摘事項、指導事項  
(検査プラント数: 243)

No	主な指摘事項、指導事項	件数(構成比率) 件(%)
1	プラント内各所の整備、清掃不良	167 (68.7)
2	ベルトコンベヤー、ターンヘッド部、計量槽等の骨材の残留	115 (47.3)
3	ストックヤードの上屋の不備	78 (32.1)
4	場内、ストックヤード等の排水不良	71 (29.2)
5	貯蔵びん、ストックヤードの隔壁の高さ不足	58 (23.9)
6	試験器具、設備の不足	53 (21.8)
7	試験員の不足	49 (20.2)
8	ベルコンクリーターの不備、位置不良	44 (18.1)
9	ベルトコンベヤーの覆いの不備	42 (17.3)
10	計量びん内等の水、混和剤の漏れ	39 (16.0)
11	ストックヤード、貯蔵タンクの容量、区画不足	34 (14.0)
12	骨材、セメント種別の表示の不備、不統一	30 (12.3)
13	骨材の粒度・粒形の不適当、洗い不足	29 (11.9)
14	表面水補正の実施不足	23 (9.5)
15	ミキサ内のコンクリートの残留、ゲートからの漏れ	21 (8.6)
16	モニターテレビの不備、位置不良	17 (7.0)
17	定期管理、日常管理の確実な実施	17 (7.0)
18	計量器等の不良	17 (7.0)
19	混和過計算防止装置の不備	14 (5.8)
20	回収水の使用	12 (4.9)

れる。具体的には、ミキサの練りませ性能の差<sup>15)</sup>、養生条件の差、骨材粒度の差、過大過小粒率の補正誤差、骨材中への泥分の混入、表面水率の補正誤差、回収水使用の有無、コンクリート温度（気象条件）の変動、運搬方法、運搬時間の変動、洗車水の残留等があり、スランプ、

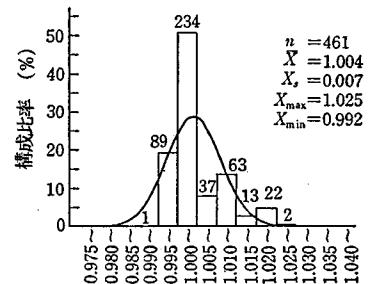


図-8 コンクリートの容積 (調査III)

空気量も低下する。このため、生コンは、試験練り（配合設計）時の強度として、実際には試験練りを行わず出荷実績から示方配合を決定している事例が多いものと推察される。その比率は、アンケートでは全体の 27.0 % (53 年生コン) となっている。

表-6 は、公団が昭和 58~60 年度のプラント検査において、全国の検査対象工場（プラント）に対して製造設備の改善あるいは QC 方法を指導した事項のうち、主な事項である<sup>3)</sup>。骨材の品質変動に影響する事項、設備不良による品質変動に影響する事項、人為的な管理不良による品質変動に影響する事項等が挙げられており、このように、JIS 生コンの製造技術はこの 40 年余の間に一応の進歩を遂げたものの、コンクリートの QC 体制の現状は、安定した出荷をするには何らかの問題点を包含

している事例も多くある。また、図一2j) から、生コンの配合は、単位水量が最も少なくなる最適細骨材率を必ず試験によって決定している公団コン<sup>5),6)</sup>と比較して、水セメント比が同程度にもかかわらず、細骨材率が大きくなっているが、この傾向は全体的に認められ、単位水量増の一因となっている。さらに、図一8は、材料の比重、示方配合および出荷実績の空気量から計算したコンクリートの容積（各工場の平均値）であるが、配合計算法がJIS規定されていないため、0.992~1.025 m<sup>3</sup>の範囲内で全体的に+側となっており、1 m<sup>3</sup>当たりの配合は、計量誤差に加えてこの分誤差が生じている。

以上のように、生コンの品質は、購入（発注）者の検査・指導体制、工場の製造設備、QC体制、配合計算方法、骨材事情、気象条件、地域性等の条件が異なるため、これらに起因して全国的に工場間で大きな格差が生じるものとみなされる。

#### 4. 結 論

本研究により得られた結果をまとめると、次のとおりである。

(1) わが国におけるコンクリート用骨材資源は、良質な河川産骨材の供給が減少しており、これに伴い骨材の品質が低下・多様化している。この傾向は、特に細骨材が著しい。

(2) 現状でわが国を代表するコンクリート用骨材は、細骨材として混合砂、粗骨材として碎石であり、これらを組み合わせて使用するコンクリートの比率が最も高く、碎石コンクリートが全体の約1/2を占める。

(3) 出荷されるコンクリートの品質は、使用骨材の品質の影響が大きく、地域格差を生じている。

(4) 出荷実積のコンクリートの圧縮強度は、試験練り（配合設計）時の圧縮強度と比べて、全体的に強度低下が生じる傾向が認められる。低下量は、QCの方法によって格差が生じるものと推測され、平均的な低下量は、良好なQCを行う場合で約5%，一般的なQCを行う場合で約10%である。

(5) 生コンの品質は、購入者の検査・指導体制、工場の製造設備、QC体制、配合計算方法、骨材事情、気象条件、地域性等の条件に起因して工場間で格差が生じている。

なお、本論文は、著者が昭和63年6月付で東京大学より工学博士の学位を受けた学位論文<sup>16)</sup>の内容の一部である。

のご懇切なるご指導を賜りました。ここに、深甚なる感謝の意を表します。また、公団本社技術部、試験所、全国10建設局試験課の方々を始め、セメント協会研究所および全国の生コン工場の方々の多大なるご協力を頂きました。ここに、慎んで厚くお礼申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本規格協会：JIS A 5308 レデーミクストコンクリート、1986年10月。
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書（施工編）、1986年10月。
- 3) 豊福：耐久性向上をめぐる生コンクリートの取り扱い—日本道路公団の場合、月刊生コンクリート、Vol.7, No.10, pp.24~31, 1988年10月。
- 4) 日本道路公団：設計要領第二集・第5編橋梁計画、pp.5-4~5-7, 1980年4月。
- 5) 日本道路公団：土木工事共通仕様書・第8章コンクリート構造物工、pp.8-1~8-18, 1984年1月。
- 6) 日本道路公団：コンクリート施工管理要領、pp.1~154, 1987年4月。
- 7) 飯岡・豊福：コンクリートの打設実態等の調査（第2報）—土木工事用コンクリート打設結果調査—、日本道路公団試験所、試験所報告（昭和51年度）、pp.86~115, 1977年12月。
- 8) 赤井・豊福：骨材の地域特性—全国生コンクリート工場使用骨材の品質実態—、コンクリート工学、Vol.17, No.8, pp.37~46, 1979年8月。
- 9) 赤井・豊福：レデーミクストコンクリートの地域特性—全国生コンクリート工場における品質実態—、セメント・コンクリート、No.395, pp.12~22, 1980年1月。
- 10) 豊福・吉岡・吉村：コンクリートの品質変化とその要因分析、第17回日本道路会議特定課題論文集、pp.220~222, 1987年10月。
- 11) 豊福：レデーミクストコンクリート（生コン）の品質実態調査、コンクリート工学、Vol.26, No.8, pp.47~56, 1988年8月。
- 12) 豊福・中村・鬼丸：重回帰分析によるコンクリートの品質管理システムに関する研究、土木学会論文集、第366号/V-4, pp.153~162, 1986年2月。
- 13) 飯岡・豊福：コンクリートの配合・強度および耐久性の推定法、セメント技術年報32, pp.213~216, 1978年12月。
- 14) 山本：コンクリートのワーカビリチーおよび強度におよぼす粗骨材の特質、コンクリートジャーナル、Vol.7, No.11, pp.11~21, 1969年11月。
- 15) 魚本：コンクリートの練りませ技術の現状と問題点、コンクリート工学、Vol.26, No.9, pp.6~11, 1988年9月。
- 16) 豊福：データ解析によるコンクリートの品質管理システムに関する研究、東京大学学位論文、1988年1月。

(1988.12.9・受付)

謝 辞：本研究にあたり、東京大学 小林一輔教授