

論文

[1050] 転圧用ノースランプコンクリートの配合方法と諸物性に関する研究

正会員○戸川一夫（和歌山工業高等専門学校）

正会員 中本純次（和歌山工業高等専門学校）

1. まえがき

近年、貧配合ノースランプコンクリートを振動ローラで転圧締固める施工方法が開発され、ダムではRCD工法¹⁾、道路舗装ではRCCP工法²⁾と称して、実績が報告されている。

本研究は貧配合ノースランプコンクリートの配合設計方法を確立するために、配合設計方法の相違がフレッシュコンクリートならびに硬化コンクリートの諸特性におよぼす影響を実験的に検討したものである。

2. 実験概要

(1) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は徳島県那賀川産の川砂（比重2.63、吸水率1.76%、F.M=3.02）、粗骨材は和歌山県由良産の硬質砂岩碎石（比重2.69、吸水率0.76%）をそれぞれ用いた。減水剤としてリグニンスルホン酸塩系のものを使用した。

(2) 実験計画およびコンクリートの配合

配合設計方法として①最適細骨材率法（s/a法）②最大乾燥密度法（密度法）³⁾③ギャップグレード法（ギャップ法）の3方法を選び、それぞれの配合方法で作られたコンクリートのフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの諸特性を比較検討した。まず、密度法でセメント量を一定にして最大乾燥密度が得られる細骨材率と単位水量を決定した。つぎに、s/a法では最適細骨材率を求め、VC（振動台式コンシステンシー試験）値が20±10秒となるよう単位水量を決定し、密度法で得られたW/C比に等しくなるように単位セメント量を算定した。ギャップ法ではギャップグレードの粗骨材を用いて密度法と同様に最大乾燥密度が得られる細骨材率と単位水量を求め、W/C比が等しくなるようにセメント量を決定した。したがって上記3つの配合設計方法において得られたコンクリートのW/C比は同一であり、細骨材率と骨材量（あるいはペースト量）が異なることになる。なお最大乾燥密度法とは、土の最大乾燥密度を求

表-1 コンクリートの示方配合

コンクリート種類	配合設計方法	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					粗骨材混合割合	VC値 (秒)	α	β	P/V
			W	C	S	G	混和剤					
G _{max} = 40mm C = 190 ϕ ス W/C=56%	s/a法	41	101	180	886	1305	1.80	40~20:20~13:13~5mm	24	0.91	1.49	0.62
	密度法	30	106	189	642	1533	1.89	=45%:25%:30%	12	1.32	1.05	0.65
	ギャップ法	20	106	189	428	1752	1.89	40~20:13~5mm=65%:35%	52	1.98	0.75	0.61
G _{max} = 40mm C = 90 ϕ ス W/C=125%	s/a法	36	106	85	801	1458	0.85	40~20:20~13:13~5mm	20	0.85	0.82	0.49
	密度法	30	116	93	658	1570	0.93	=45%:25%:30%	7	1.13	0.99	0.54
	ギャップ法	25	106	85	557	1709	0.85	40~20:13~5mm=65%:35%	27	1.27	0.81	0.48
G _{max} = 20mm C = 190 ϕ ス W/C=56%	s/a法	46	106	167	992	1191	1.67	20~13:13~5mm	19	0.82	1.62	0.61
	密度法	36	119	190	758	1379	1.90	=50%:50%	25	1.21	1.23	0.70
	ギャップ法	30	100	160	654	1561	1.60	20~13mm=100%	25	1.18	0.89	0.50
比較用 G _{max} = 20mm C=300, W/C=63%	s/a法	43	188	300	788	1069	3.00	20~13:13~5mm =50%:50%	スランプ 8.5cm	1.83	1.97	1.27

混和剤は4倍液使用

める方法に準じて、最適含水比を求めて、コンクリートの配合設計を行なう方法である。ランマー突き固め数は $\phi 15 \times 30$ cmの供試体を4.5 kgの重量のおもりを45 cmの高さから落下させて5層突きで1層132回突くことにした³⁾。そのとき仕事量 $E_c = 252122 \text{ m} \cdot \text{kgf} / \text{m}^3$ である。得られた各種コンクリートの示方配合を表-1に示す。目標空気量は $2.0 \pm 0.5\%$ である。表中の $\alpha^{4)}$ は細骨材の空隙に対するペーストの割合、 $\beta^{4)}$ は粗骨材の空隙に対するモルタルの割合、そして $P/V^{5)}$ は細、粗骨材混合状態の空隙に対するペーストの割合を意味する。実験計画を表-2に示す。フレッシュコンクリートの検討項目はVC値、硬化コンクリートのそれは各種強度（圧縮、曲げ、引張）、弾性係数、乾燥収縮、凍結融解抵抗性および疲労特性である。選んだ単位セメント量は最大寸法40 mmの場合 $190 \text{ kg} / \text{m}^3$ 程度と $90 \text{ kg} / \text{m}^3$ 程度の2段階であり、最大寸法20 mmの場合 $190 \text{ kg} / \text{m}^3$ 程度の1段階である。なお、疲労特性は最大寸法20 mmのシリーズについてのみ実験した。

(3) 練混ぜ、供試体の作製、および養生

コンクリートの練混ぜには強制練りミキサー（パンタイプ、容量50 l）を使用した。全材料投入後、2分間練混ぜた。コンクリート供試体の締固めは電動ハンマー（3000 rpm）の先にランマーを取付けて表面から打撃振動を加えながら締固めた。圧縮および引張強度試験用供試体（ $\phi 15 \times 30$ cm）は3層に詰め、各層20秒程度、曲げ強度、凍結融解抵抗性および乾燥収縮試験用供試体（ $10 \times 10 \times 40$ cm）は2層に詰め、各層一点につき20秒程度、疲労試験用供試体（ $\phi 7.5 \times 15$ cm）は2層に詰め、各層20秒程度締固めた。なお、比較用コンクリートは棒状バイブレータで締固めた。供試体の養生は打込み直後から養生室（室温 20°C 、湿度 100% ）で湿潤養生し、材令1日でキャッピングをし、材令2日から試験日まで水中養生（水温 $20 \pm 3^\circ \text{C}$ ）をした。乾燥収縮試験用供試体は材令28日まで水中養生し、以後、室温 20°C 、湿度 60% で乾燥養生した。凍結融解試験用供試体は材令14日まで水中養生し、試験に供した。疲労試験用供試体は、材令28日まで水中養生し、以後最低3週間は乾燥養生して試験に供した。

表-2 実験計画

コンクリート種類	配合設計方法	フレッシュコンクリート特性	硬化コンクリート特性
$G_{\max} = 40 \text{ mm}$ $C = 190 \text{ kg/m}^3$	s/a法	●	●
	密度法	●	●
	ギヤツ法	●	●
$G_{\max} = 40 \text{ mm}$ $C = 90 \text{ kg/m}^3$	s/a法	●	●
	密度法	●	●
	ギヤツ法	●	●
$G_{\max} = 20 \text{ mm}$ $C = 190 \text{ kg/m}^3$	s/a法	●	●
	密度法	●	●
	ギヤツ法	●	●
比較用 $G_{\max} 20 \text{ mm}, C=300$	s/a法	●	●

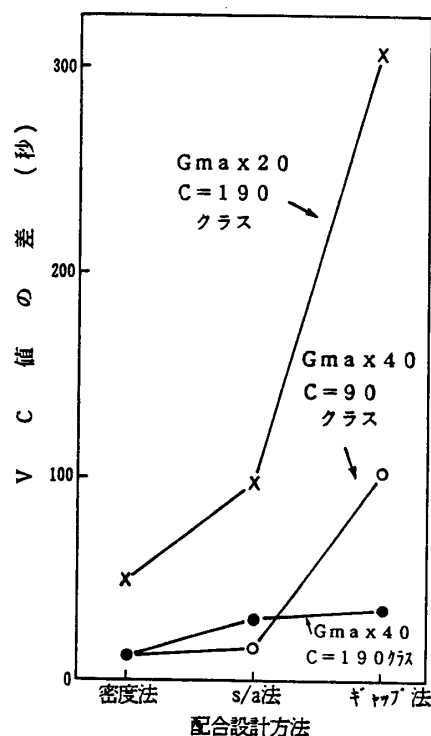


図-1 打込み直後と3時間後のVC値の差

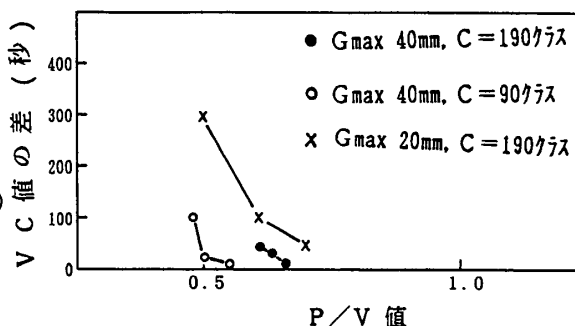


図-2 VC値の差とP/V値との関係

表-3 各種強度および弾性係数実験結果

コンクリート 種 類	配合設計 方 法	圧縮強度(Kgf/cm ²)		山げ強度(Kgf/cm ²)		引張強度(Kgf/cm ²)		静弾性係数(Kgf/cm ²) ($\times 10^6$)		動弾性係数(Kgf/cm ²) ($\times 10^6$)	
		材令 28日	91日	28日	91日	28日	91日	28日	91日	28日	91日
G _{max} = 40mm C = 190クラス	s/a法	321	374	57	57	35	38	3.56	3.60	5.29	6.29
	密度法	358	411	51	62	33	36	3.56	3.67	5.53	6.69
	ギャップ法	265	305	53	63	28	35	2.76	2.84	5.46	6.61
G _{max} = 40mm C = 90クラス	s/a法	71	83	19	20	9	11	1.44	2.83	3.92	4.31
	密度法	65	83	18	19	8	11	1.39	2.30	3.91	4.13
	ギャップ法	50	67	17	17	7	10	0.83	1.87	3.71	3.88
G _{max} = 20mm C = 190クラス	s/a法	222	260	45	49	23	27	2.93	3.02	4.73	5.72
	密度法	317	362	51	54	29	33	3.58	3.66	5.35	6.41
	ギャップ法	252	290	46	56	26	31	3.11	3.20	5.44	6.51

(4) 各種試験方法

コンクリートのコンシステンシーはVC試験機(3000rpm、振幅1mm)で測定した。コンクリートを円筒容器(内径24.0cm、内高さ20.3cm)に2層に詰め各層突き棒で35回突き固めた。その容器を振動台に載せて20kgのおもりのついたプラスチック円板をコンクリート表面に置いて振動を開始してから円板全体にモルタルがいきわたる時間(秒)を測定し、その時間をVC値とした。疲労試験は上限応力比を87.5%、80%、および72.5%の3段階とし、下限応力比を10%の一定とした。載荷周期は5Hzである。凍結融解試験はASTM C-666のA法(水中凍結、水中融解)に準じた。

3. 結果と考察

(1) VC値

図-1はコンクリートの打込み直後と3時間後のVC値の差を示している。この差は時間経過によるコンクリートの打込み易さの難易を表している。図より密度法によるコンクリートは他の配合のコンクリートよりも練上がり後時間が経過してもコンクリートの締固めはしやすいことがわかる。この結果と表-1に示す α 、 β あるいは P/V 値等の指標との関係を種々調べた。その結果VC値の差は P/V 値とはほぼ反比例の関係にあることがわかった(図-2参照)。すなわち、 P/V 値が大きいとVC値の差は低下することになり、時間経過にともなうコンクリートの締固めのしにくさが緩和されると言える。

(2) 圧縮強度および弾性係数

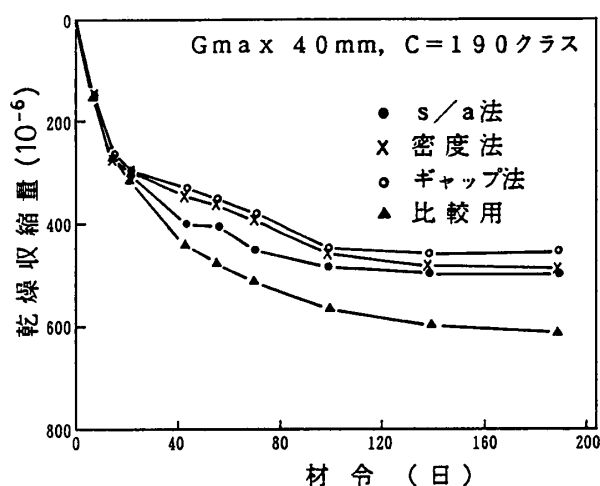


図-3 乾燥収縮試験結果

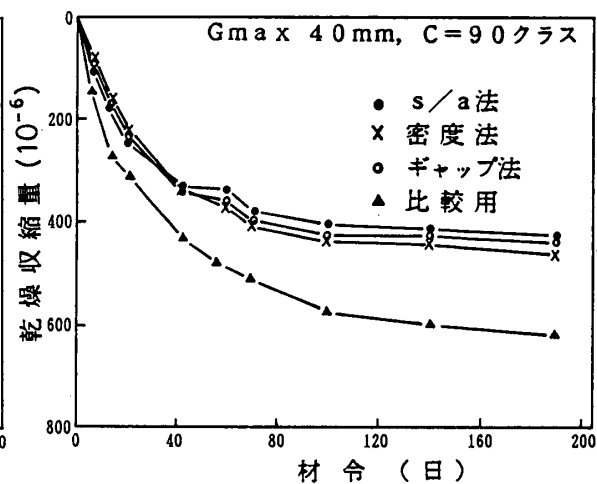


図-4 乾燥収縮試験結果

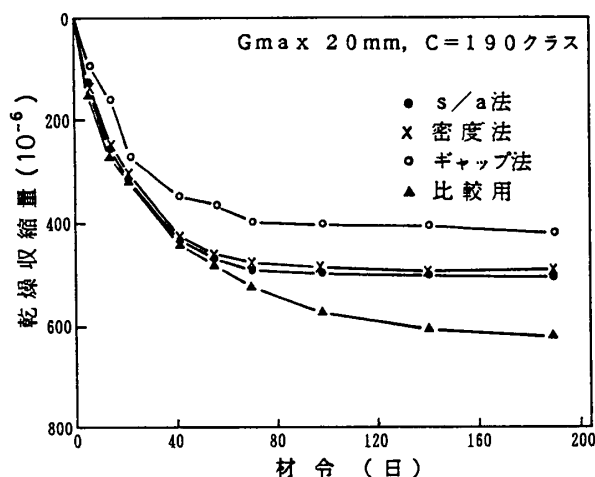


図-5 乾燥収縮試験結果

圧縮強度および静、動弾性係数試験結果を表-3に示す。表中の数字に下線を付けたものがそのシリーズで強度等が一番大きいものである。その結果単位セメント量が 190 kg/m^3 程度のシリーズでは粗骨材の最大寸法が 40 mm および 20 mm の場合ともに、密度法によって配合設計したコンクリートの各種強度および弾性係数は他の配合設計法によるコンクリートよりも大略高くなることが認められた。単位セメント量が 90 kg/m^3 程度のシリーズではs/a法によって配合設計したコンクリートの各種強度および弾性係数が他の配合設計法によるコンクリートのそれらよりも高くなった。なお、強度等と α 、 β 、 P/V 値との間には相関性は得られなかった。

(3) 乾燥収縮特性

図-3、4、5に乾燥収縮実験結果を示す。転圧振動締固めしたノースランプコンクリートの乾燥収縮量はいずれの場合も棒状バイ

プレートで締固めたスランプ 8.5 cm の比較用コンクリートのそれよりも小さくなることがわかった。単位セメント量が 190 kg/m^3 程度のシリーズでは乾燥収縮量はギャップ法による

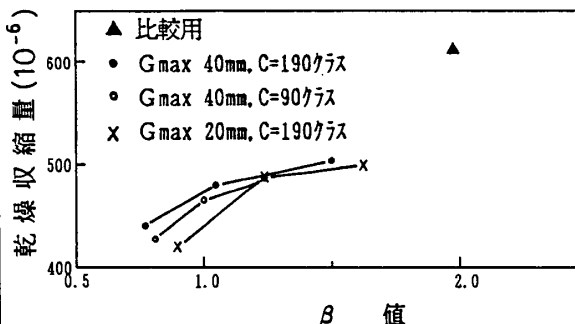
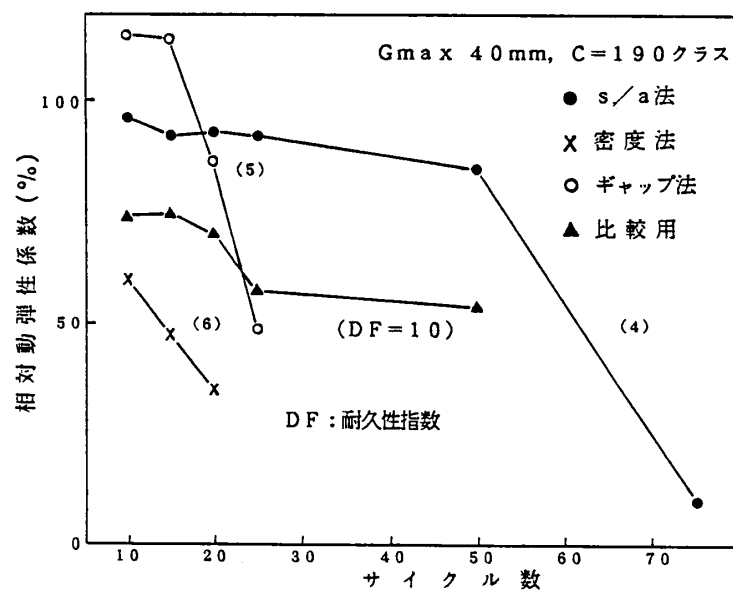
図-6 乾燥収縮量と β 値との関係

図-7 凍結融解試験結果

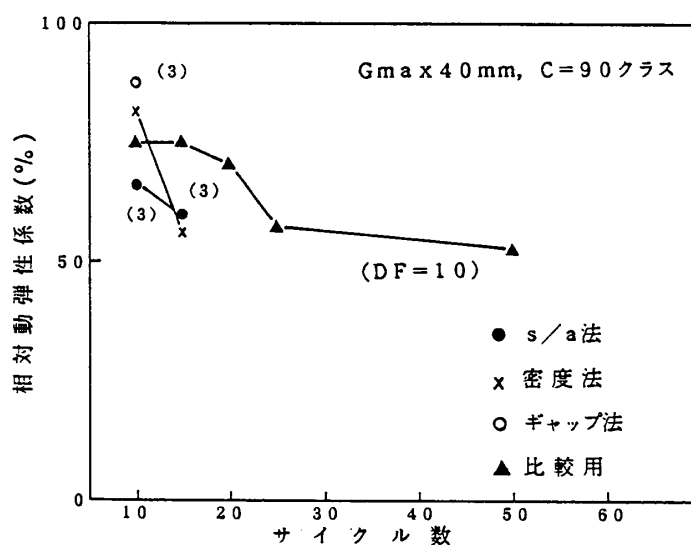


図-8 凍結融解試験結果

コンクリートが最も小さくなることが明らかになった。また、単位セメント量が 90 kg/m^3 程度のシリーズでは s/a 法によるコンクリートの乾燥収縮量が最も小さくなった。図-6は乾燥収縮量と β 値との関係を示している。 β 値が大きくなると乾燥収縮量も大きくなると言える。なお、他の要因との相関性は認められなかった。

(4) 凍結融解抵抗性

図-7、8、9に凍結融解試験結果を示す。同図には耐久性指数 (DF) も付記している。耐久性指数が最も大きくなる配合はシリーズごとで異なった。図-10に耐久性指数と β 値との関係を示している。 β 値が大きくなると耐久性指数は高くなることはあっても低下することはないようである。

(5) 疲労特性

図-11は縦軸に $\frac{S_r}{1-S_v}$ 、横軸に繰返し回数 (N) をとって、コンクリートの疲労特性を示している。

コンクリートの一定繰返し応力下の疲労寿命分布は対数正規分布し、その平均疲労寿命は次式で求められる⁶⁾。

$$\log N = K \left(1 - \frac{S_r}{1-S_v} \right)$$

K: 実験常数,
 S_r : 応力振幅比
 S_v : 最小応力比

本実験における各種コンクリートの K 値 (95%以上の生存確率) を求めると、

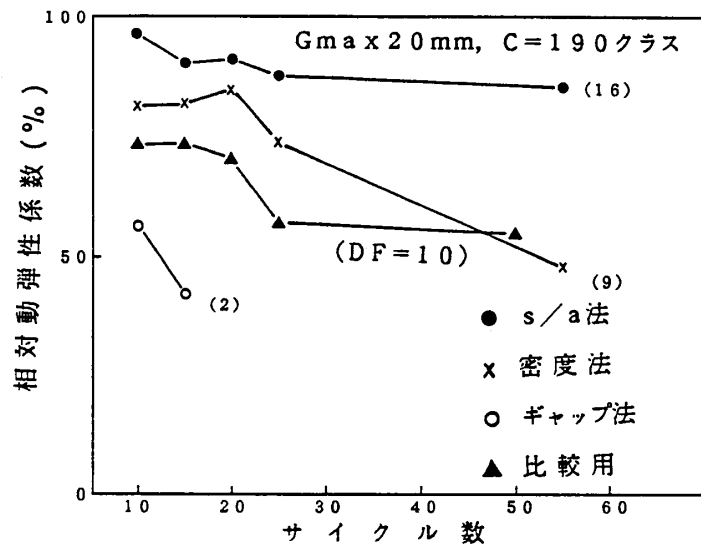


図-9 凍結融解試験結果

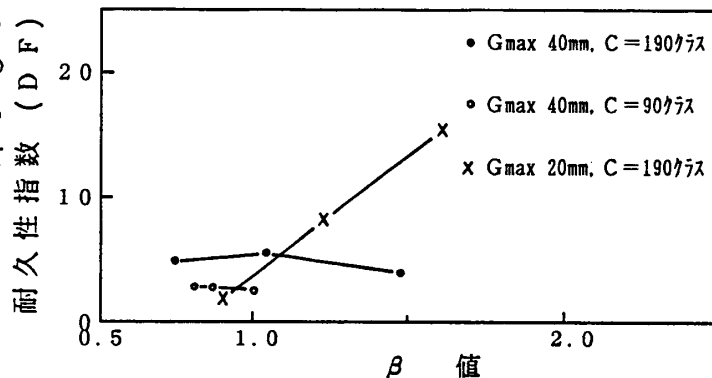


図-10 耐久性指数 (DF) と β 値との関係

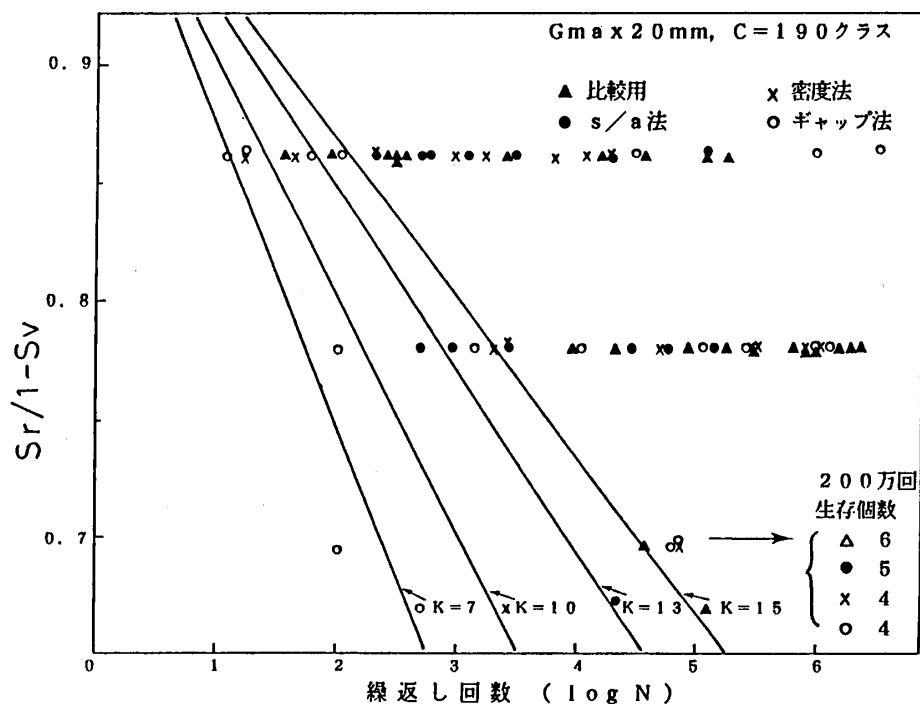


図-11 疲労試験結果

比較用コンクリートは $K=15$ 、 s/a 法によるコンクリートは $K=13$ 、密度法によるコンクリートは $K=10$ 、ギャップ法によるコンクリートは $K=7$ であった。 K 値の大きい s/a 法によるコンクリートが耐疲労特性は優れていることになる。図-12は K 値と β 値との関係を示す。 β 値が増大すると K 値も増大していくと言える。

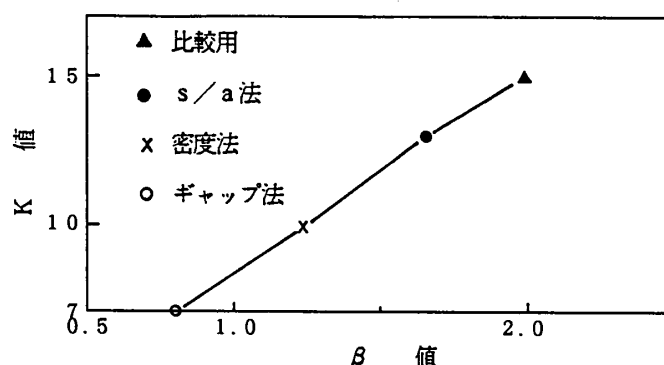


図-12 K 値と β 値との関係

4. 結論

貧配合ノースランブコンクリートの配合設計方法と各種特性との関係を調べた結果、次の結論を得た。

1) コンクリートの時間経過にともなう締固めの難易は P/V 値と関係し、 P/V 値が大きいコンクリートほど時間経過があってもコンクリートの締固めはしやすいことがわかった。

2) コンクリートの各種強度および弾性係数は単位セメント量が 190 kg/m^3 程度の場合最大乾燥密度法によって配合設計したコンクリートが、単位セメント量が 90 kg/m^3 程度の場合には最適細骨材率法によるコンクリートが、他の設計方法によるコンクリートより高くなる傾向がある。

3) 貧配合ノースランブコンクリートはスランプ 8.5 cm の一般的なコンクリートよりも乾燥収縮量は小さくなる。乾燥収縮量と β 値の間には相関性があり、 β 値の大きいコンクリートは乾燥収縮量が大きくなる。

4) コンクリートの耐久性指数は β 値と相関性があり、 β 値が大きくなると耐久性指数は大きくなる傾向がある。

5) コンクリートの疲労特性は β 値と関係し、 β 値が大きくなる程コンクリートの耐疲労特性は優れていることになる。

謝辞

本研究の一部は科学研究費（一般研究C 63550354）を得て行ったものである。また、凍結融解試験については大阪セメント㈱中央研究所にお世話になった。付記して深謝する。

<参考文献>

- 1) 国土開発技術研究センター編集 : RCD工法によるダム施工、7, 1981
- 2) 建設省関東技術事務所、セメント協会 : ローラ転圧コンクリート舗装、セメントコンクリート、No. 497、7, 1988
- 3) 根本、内田、井上 : 転圧コンクリートに関する一検討、道路建設、10, 1986
- 4) 中原、横田、平田 : 超かた練りコンクリートの配合の考え方とコンシステンシー、セメントコンクリート、No. 384、2, 1979
- 5) 松本、佐谷、志賀 : RCD用コンクリートの現場転圧試験、土木学会論文集、第391、VI-8、3, 1988
- 6) 土木学会編 : コンクリート構造の限界状態設計法指針（案）、コンクリートライブラリー、第52号、11, 1983