

コンクリート仮示方配合における細骨材率による コンシステンシーの調整法について

ON THE ADJUSTABLE METHOD OF CONSISTENCY BY
THE RATIO OF FINE AGGREGATE IN THE PROVISIONAL
DESIGNED PROPORTION OF CONCRETE

加賀美 一二三*
By Hifumi Kagami

1. 緒 言

コンクリートの仮示方配合におけるためし練り後のコンシステンシーの調整法は、まだ十分に説明されていない。すなわち、コンクリートの絶対容積を考慮のうえ、水量とセメント量とを配合設計上の水セメント比を維持しながら変化して、所要のスランブ量に達するようにするか、さらにこれに細骨材率の要素を加えて調整する方法が実施されているが、所要の性質のコンクリートに対して前、後者とも不経済設計となることがあり、かつ後者が表値による場合は配合の根拠を立証することが容易でない。さて、既報告¹⁾中に、水セメント比が一定にてスランブを変えればコンクリート強度はどうなるか—水セメント比を一定にしてスランブのみを変化した実験がない—これは混和材料を用いるか、骨材の粒度を変えるかであろうなどと述べている。

著者はコンクリートの仮示方配合計算後の配合選定および臨機的調整の場合に関するものとして、水セメント比の一定すなわち、セメント量、水量の絶対量を用い、細骨材率のみを変化する場合の実験を、玉砂利ならびに砕砂利のコンクリートについて実施したところ、でき上りコンクリートの絶対容積の一定の維持がたやすくできて、一般コンクリートの領域においては粘性でワークブルであり、細骨材率の操作であるから経済的コンクリートが得られるものであることがわかった報告である。

2. 実験供試体と測定方法

(1) 実験材料

骨材；～細骨材は海岸砂にて、比重 2.57, 単位容積重量 1620 kg/m³, 吸水率 4.51%, 粗粒率 2.74, 粗骨材は玉砂利は水洗後、砕砂利はそのままにて、20 mm 以上, 20~10 mm, 10~5 mm の3種に分類し、それぞれを重量比にて 3:3:2 の割合で混合して使用し、この割合の粗骨材の性質はそれぞれ比重は 2.73, 2.68, 単位容積重量 1710, 1630 kg/m³, 吸水率 0.96, 0.82, 粗粒

率 7.97, 7.80 である。セメント；～某社の普通ポルトランドセメントにて、その比重は 3.13 である。

(2) 実験用供試体

前述の材料にて、配合設計計算によるそれぞれの重量を計量して、容量 0.07 m³, 回転数 rpm 28 のミキサにて3分間練りませ、鉄板台内にて切返してのち、試料をほぼ2等分してスランブ試験をなし、スランブが割合に小さくコンクリート表面の傾く範囲は、その表面の高、中、低の3ヵ所を測定してその平均値をスランブ値とし、その他は標準示方書の方法による値である。このコンクリートを練り返して標準モールドに示方書に従い3層につめ、各層ごとに外部バイブレーターをその軟さ程度に応じて、表面に水分が浮びでるまで 10 秒より 30 秒の範囲に使用した。上層は上部バイブレーター使用であるから、押つけ圧入がないよう十分注意した。この方法を用いたので、コンクリートの密度は均等性の供試体をつくりえたと考える。そして各種配合においてそれぞれの s/a に対し3本の供試体をつくった。

本実験においては、骨材の絶対細骨材率の範囲を 43% より 28% とし、その間を6種類にして実験したものであるが、両粗骨材による細、粗混合骨材についての 2 l の容積に対する4回の測定にて求めた平均重量および空げき率は表-1のごとくである。

表-1 混合骨材の重量と空げき率

$s/a, \%$		28	31	34	37	40	43
2 l の重量 (kg)	玉砂利	4.065	4.100	4.230	4.162	4.083	4.065
	砕砂利	3.884	3.888	3.908	3.908	3.905	3.800
空げき率 (%)	玉砂利	24.5	23.6	21.2	22.2	23.6	23.8
	砕砂利	26.7	26.5	26.1	26.0	25.9	27.7

これを図示すると図-1のごとくなり、混合骨材の最大密度は玉砂利の場合は s/a が 34% 前後、砕砂利の場合は 38% 前後になるものと考えられる。

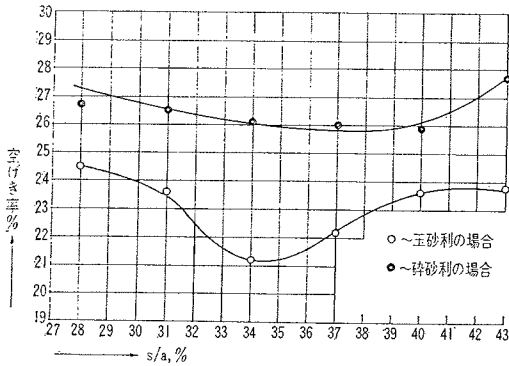
供試体はキャッピングした後、2日目に脱型し実験日まで水中養生した。

(3) 破壊実験

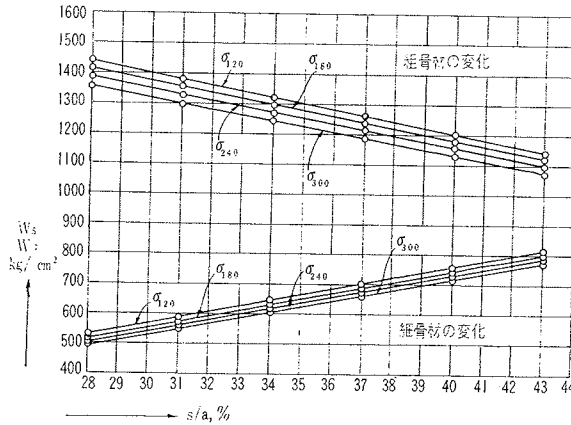
供試体の荷重法は、それぞれ3供試体中2供試体は規

* 正会員 工博 山口大学教授 工学部土木工学科

図一 混合骨材の細骨材率と空けき率の関係

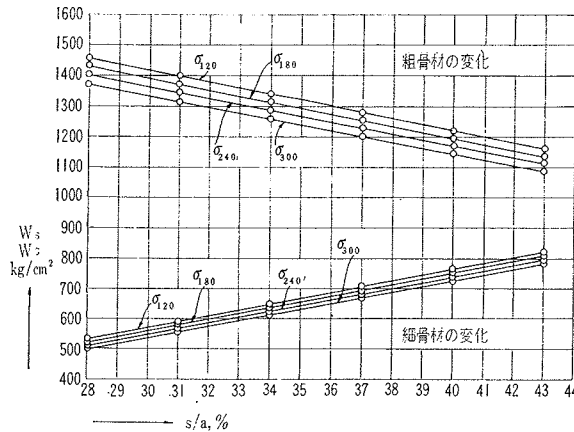


図二 修正計算による場合の玉砂利コンクリートの仮示方配合の結果



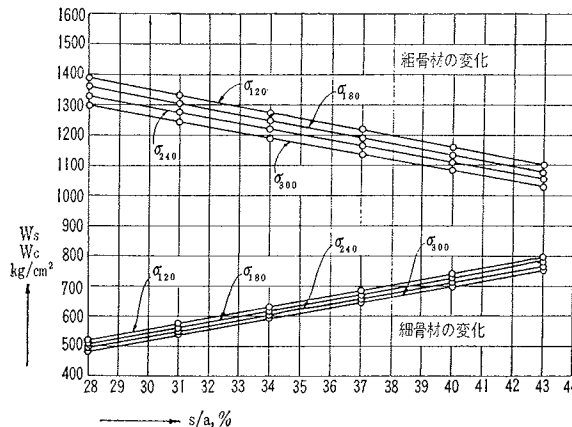
コンクリートの種類	単位水量	単位セメント量	水セメント比
σ_{20}	171 kg/m ³	262 kg/m ³	65.4%
σ_{80}	171	310	55.1%
σ_{180}	171	356	48.0%
σ_{300}	171	465	42.1%

図三 無修正計算による場合の玉砂利コンクリートの仮示方配合の結果



コンクリートの種類	単位水量	単位セメント量	水セメント比
σ_{120}	166 kg/m ³	254 kg/m ³	65.4%
σ_{180}	166	300	55.1%
σ_{240}	166	346	48.0%
σ_{300}	166	393	42.1%

図四 修正計算による場合の砕砂利コンクリートの仮示方配合の結果



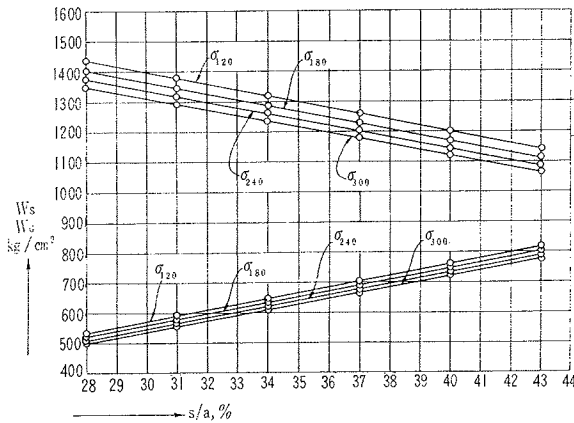
コンクリートの種類	単位水量	単位セメント量	水セメント比
σ_{120}	181 kg/m ³	278 kg/m ³	65.4%
σ_{180}	181	328.5	55.1%
σ_{240}	181	378	48.0%
σ_{300}	181	429	42.1%

定の圧縮強度試験法により、他の供試体は供試体側面対称2個のダイヤルゲージにより、圧縮ひずみを測定して弾性係数決定の資料とした。

3. 供試体用コンクリートの配合設計

コンクリートの配合設計は、割増係数を考慮せず土木学会標準示方書中の関係式による実験により、実験にもとづかない場合であって、この方法によって仮示方配合を定めることにしたが、本実験においては s/a を 43% より 28% の範囲に変化する場合であるから、 s/a の修正計算を省き他の項目は修正表により所要値を計算する

図-5 無修正計算による場合の砕砂利コンクリートの仮示方配合の結果



コンクリートの種類	単位量	単位セメント量	セメント比
σ_{240}	166kg/m ³	245kg/m ³	65.4%
σ_{180}	166	301	55.1%
σ_{120}	166	346	43.0%
σ_{90}	166	393.4	42.1%

場合と、配合計算を簡易にするために無修正の場合について計算して実験することにした。

与えられた条件は粗骨材の最大寸法は 40 mm, スランプ 10 cm, エントラプト エアーは 1% として, 配合設計における目標強度を 120, 180, 240 および 300 kg/cm² とした。

(1) 玉砂利コンクリートの場合

この場合の仮示方配合計算結果は, 修正した場合は 図-2, 無修正の場合は 図-3 となった。

(2) 砕砂利コンクリートの場合

この場合の仮示方配合計算結果は, 修正した場合は 図-4, 無修正の場合は 図-5 となった。

以上の配合例は, 本実験における与えられた条件による場合にて, 他のいかなる配合の場合も同じ方法にて実施し得られるものである。

4. 細骨材率とスランプの関係

(1) 玉砂利コンクリートの場合

修正, 無修正による玉砂利コンクリートの仮示方配合

図-6 修正計算による玉砂利コンクリートの細骨材率とスランプの関係

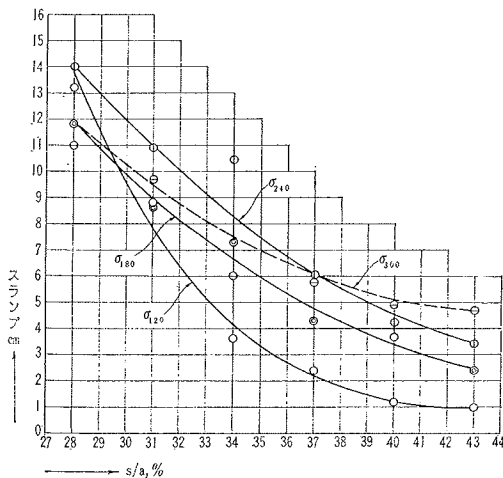


図-8,9 となった。

以上の玉, 砕砂利コンクリート供試体のスランプの一部を示すと, 写真-1 (a),(b),(c), 写真-2 (a),(b), (c)のごとくである。

図-7 無修正計算による玉砂利コンクリートの細骨材率とスランプの関係

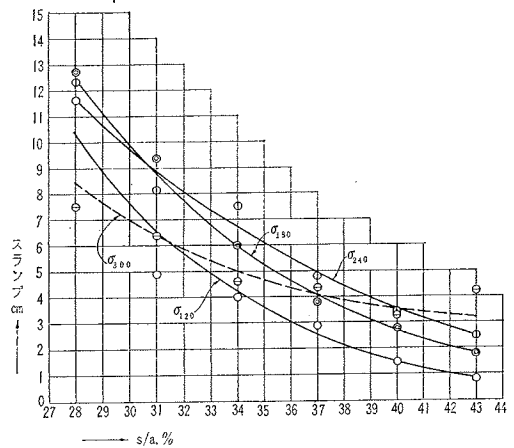
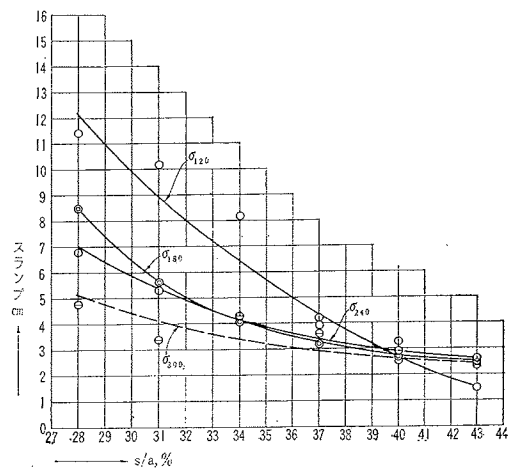


図-8 修正計算による砕砂利コンクリートの細骨材率とスランプの関係

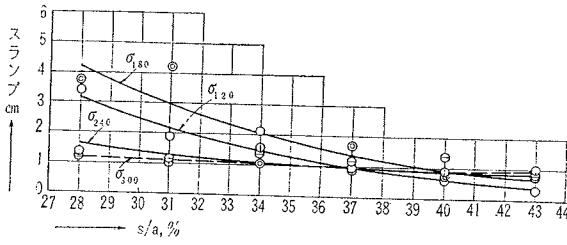


計算にもとづいた数量にてつくったコンクリート供試体用コンクリートの細骨材率とスランプの測定値との関係は, 図-6,7 となった。

(2) 砕砂利コンクリートの場合

修正, 無修正による砕砂利コンクリートの仮示方配合計算にもとづいた数量にてつくったコンクリート供試体用コンクリートの細骨材率とスランプの測定値との関係は 図

図-9 無修正計算による砂利利コンクリートの細骨材率とスランプの関係



(3) 考 察

玉砂利コンクリートの s/a とスランプの関係は図-6, 7 にてみるように、修正、無修正いずれも s/a の変化に応じて、スランプ量が顕著にあらわれ既報告²⁾と異なる。そして σ_c が 120, 180, 240 kg/cm² となるにしたが

い漸次大となるが、300 kg/cm² となると練りあがったコンクリートの外観が粘性に過ぎ、 s/a の小なる側においてスランプ量が小となる傾向となる。これはセメント量の増加にともない骨材粒子間の粘性が増し、コンシステンシーの増加は漸次ゆるやかになり、ある領域に達すると減少することになると思われる。一般コンクリートとしては 120~240 kg/cm² 程度の範囲が考えられるのであって、 σ_c の増加にともなってスランプも増加するといえる。 σ_c が 300 kg/cm² においては w/c が 42% 程度となるので、これ以上はプレストレストコンクリートのような富配合となるので、スランプの関係は一般に問題とならない。

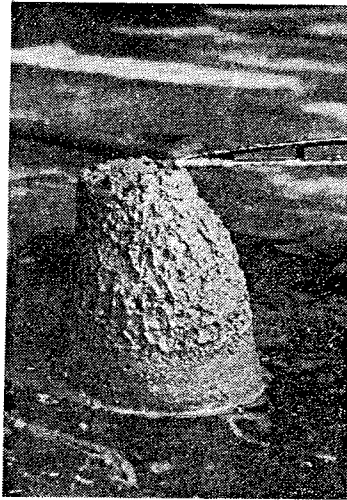
砕砂利コンクリートの場合は図-8,9 にみるように、玉砂利コンクリートの場合と異なり σ_c の漸増にしたが

写真-1 玉砂利コンクリートのスランプの状態

(a) s/a 43% の場合



(b) s/a 34% の場合

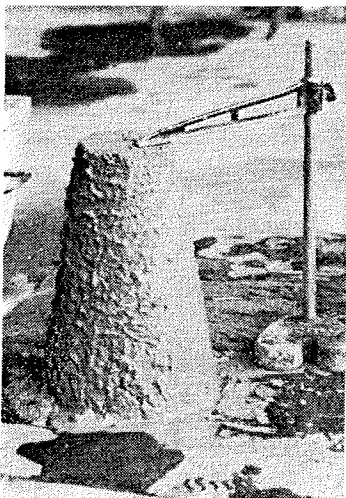


(c) s/a 28% の場合



写真-2 砕砂利コンクリートのスランプの状態

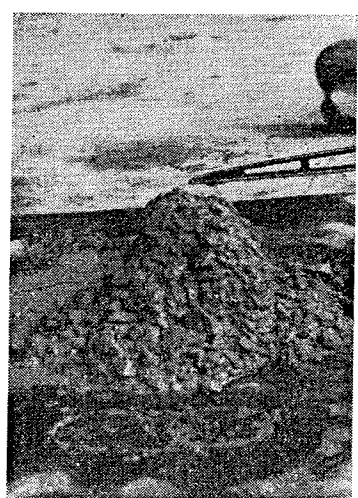
(a) s/a 43% の場合



(b) s/a 34% の場合



(c) s/a 28% の場合



い、 s/a 40% 以下にてはスランプが小となる傾向が示され、無修正による配合の場合は思わしくない。修正による配合の場合には s/a とスランプの関係は良結果を示すので利用できるのであるが、 σ_c が 180 kg/cm^2 以上になると σ_c によるスランプ値の差異が僅少にて区別しがたくなる。この場合は w/c を一定にしておきながら w と c の絶対量の変化をさせる方法を併用するか、AE 剤、ポゾランなどの使用が必要となる。

5. 細骨材率、スランプに対する骨材表面のセメントペースト膜厚の関係

(1) 骨材の表面積

骨材の表面積の計算は多くの提案³⁾ がなされているのであるが、骨材のふるい分通過重量百分率を用い表面積係数⁴⁾ によるのが、最も合理的であると考えられるので本実験の場合に適用する。すなわち、 $A_{n(n+1)}$ を骨材粒形 x_n より x_{n+1} 区間の骨材表面積とすると表-2 の値となる。

ゆえに、いま W_S, W_G を細骨材の使用量とすると、

$$A = 3.656 W_S + 0.1826 W_G$$

ここに、式中 $W_S = 2.57 V (s/a)$, $W_G = 2.73 V (1 - s/a)$ を代入すると、混合骨材の表面積 $A(\text{m}^2)$ は、

$$A = 8.899 V \frac{s}{a} + 0.499 V \dots\dots\dots (1)$$

式中、 V = 混合骨材の絶対容積、 l

s/a = 細骨材率、 10^{-2}

砕砂利を用いた場合の混合骨材の表面積の式は、式(1)と同様に求めると、

$$A = 8.811 V \frac{s}{a} + 0.587 V \dots\dots\dots (2)$$

式中の符号は式(1)と同様である。

(2) セメントペースト膜厚と s/a , スランプの関係

骨材の単位容積中の空げきをセメントペーストが充填していることが当然であるから、配合設計のセメントペースト量を混合骨材の表面積にて除したものは、近似的にセメントペ

表-2 細、粗骨材の表面積

細骨材			粗骨材		
x		$A_{n(n+1)}$ ($\text{m}^2/1 \text{ kg}$)	x		$A_{n(n+1)}$ ($\text{m}^2/1 \text{ kg}$)
x_2	x_1		x_2	x_1	
5	2.5	0.013	40	30	0.0114
2.5	1.2	0.136	30	20	0.0660
1.2	0.6	1.313	20	15	0.0120
0.6	0.3	1.873	15	10	0.0506
0.3	0.15	0.321	10	5	0.102
—	—	3.656	—	—	0.1826

ースト膜厚と考えられている。いま実験上の s/a と式(1),(2)により求めたセメントペースト膜厚 t と測定したスランプ量との関係を求めてみることにする。

玉砂利コンクリートの場合；～修正，無修正による場合の関係は 図-10,11 となる。

砕砂利コンクリートの場合；～修正，無修正による場

図-10 修正玉砂利コンクリートの場合の $s/a, t$ とスランプ量の関係

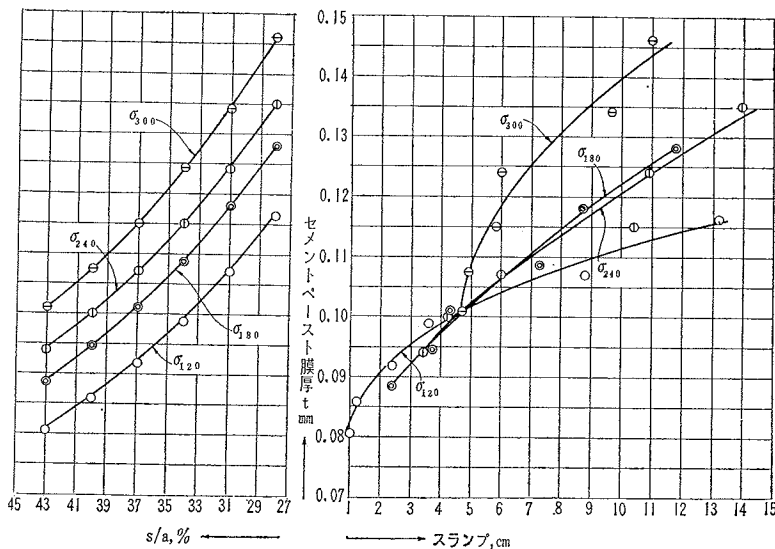


図-11 無修正玉砂利コンクリートの場合の $s/a, t$ とスランプ量の関係

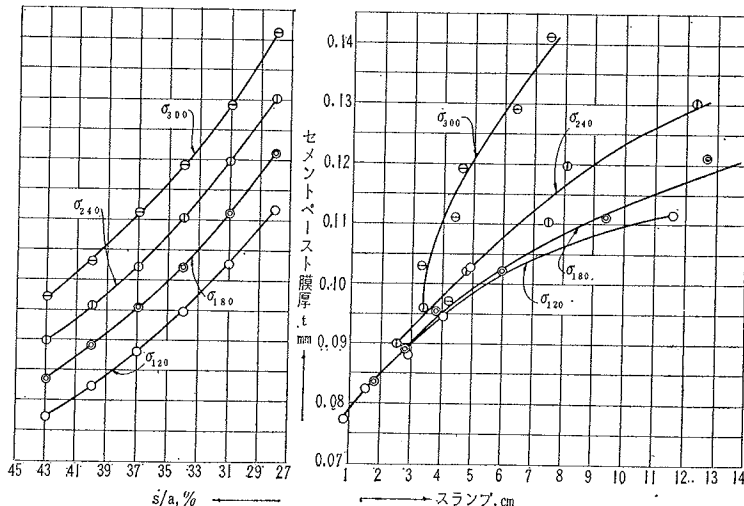


図-12 修正碎砂利コンクリートの場合の $s/a, t$ とスランプ量の関係

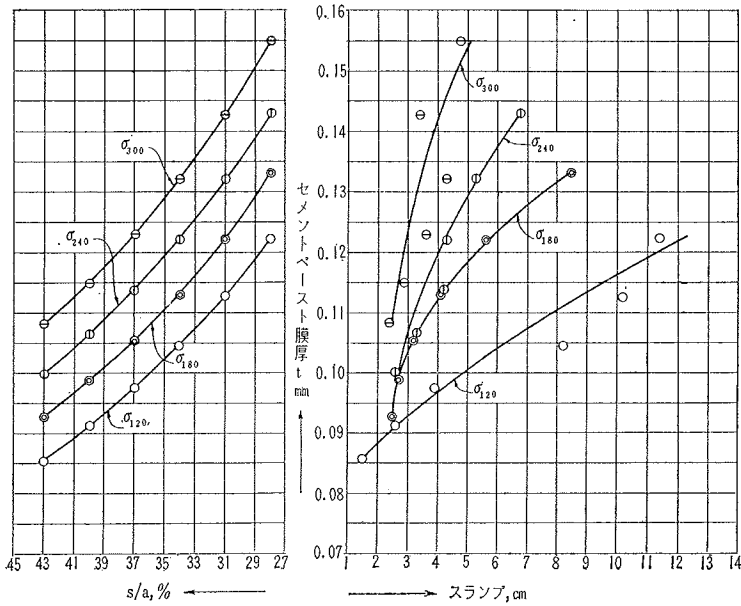
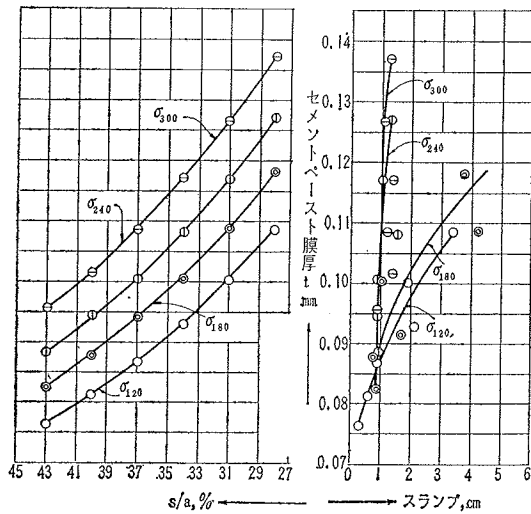


図-13 無修正碎砂利コンクリートの場合の $s/a, t$ とスランプ量の関係



合の関係は 図-12,13 となる。

(3) 考 察

玉, 碎砂利コンクリートとともに 図-10,11,12,13 にみるように, 混合骨材表面積は s/a が小になるにしたがい, 各 σ_c の場合ともその傾向が異なるがスランプは大となる。ゆえに, スランプ量は玉, 碎砂利コンクリートいずれもコンクリートの単位容積中の混合骨材表面積に対する, セメントペースト量に主として影響されるものといえる。各 σ_c のコンクリートにおいて, 玉砂利コンクリートにては圧縮強度がある限界より大となると, 同水量に対し, セメント量が多量となるので, セメントペーストが濃度が大きくなり粘着性を増しスランプが減少

する傾向となるものと考えられる。

碎砂利コンクリートは玉砂利コンクリートにくらべてスランプが小であり, でにくいのは同じ s/a のコンクリートでもその混合骨材表面積は大となるうえに, 碎砂利は角ばりかつ表面に多くの凹凸があり骨材相互に干渉しあって, セメントペーストの潤滑作用に対してもスランプしにくくなるものと考えられる。また玉砂利コンクリートの場合と同様, σ_c の漸次大となるにしたがい同一水量に対してセメント量が増加するので, セメントペーストの濃度の大きと, 粗骨材の粗面なるためにより以上付着が強くなり, 図-12, 13 にみるように σ_c の大となるにしたがいスランプはでにくくなるものと思われる。

図-1 と 図-6,7 または 図-10,11

により考察するとき, 混合骨材の最大密度は s/a が玉砂利コンクリートは 34% 前後, 碎砂利コンクリートは 38% 前後であるが, 各 σ_c のコンクリートにおいてスランプは s/a 43% より 28% に減少するにしたがい大となるので, スランプと混合骨材の密度とは関係がない。さて最近コンクリート用骨材に対する新しい提案⁵⁾もなされているが, コンクリートの配合設計と結びつけられていないので有効なものとは考えられない。

6. 配合設計強度 σ_{28} 設 とその破壊強度 σ_{28} 実

玉, 碎砂利コンクリートとも, 各 σ_c の s/a の種々の値に対しスランプが変化したが, w/c が一定なるためにその破壊強度はほとんど大差なく, 玉, 碎砂利コンクリートについての実験結果は 表-3.4 のごとくである。

そして配合設計強度 σ_{28} に対する実験結果は, 図-14 示すような玉, 碎砂利コンクリートとも, ほぼ平行な直線にてあらわされた。ただし, 碎砂利コンクリートの高強度の場合は, 各供試体とも s/a が 31, 28% になるにしたがい同一の w/c に対しても, 造形にあたり分離の

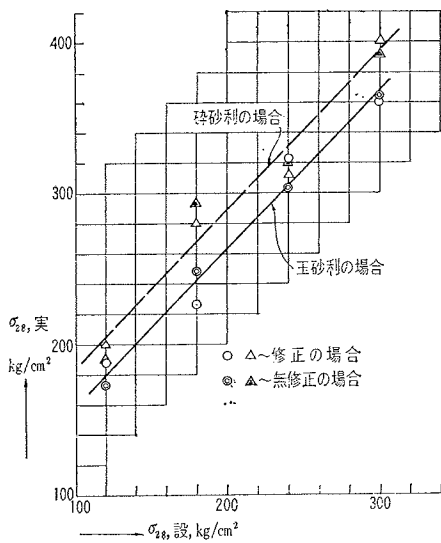
表-3 玉砂利各種コンクリートの破壊強度値 (kg/cm²)

	as %	28	31	34	37	40	43	σ_{cy} の 平均値
		σ_{120}	修正 無修正	180 171	181 184	186 171	192 173	
σ_{180}	修正 無修正	201 248	220 243	224 267	245 250	— 235	229 246	224 248
σ_{240}	修正 無修正	306 290	327 295	327 314	324 305	331 319	318 298	322 304
σ_{300}	修正 無修正	364 350	333 366	379 372	366 381	367 374	346 342	360 364

表-4 砕砂利各種コンクリートの破壊強度値 (kg/cm²)

$s/a, \%$		28	31	34	37	40	43	$\sigma_{cy} \rightarrow$ 平均値
		σ_{120}	修正 無修正	194 193	192 175	197 192	205 180	
σ_{180}	修正 無修正	259 270	270 254	287 303	286 306	281 308	302 314	281 293
σ_{240}	修正 無修正	281 263	300 281	324 322	315 355	324 351	326 348	312 320
σ_{300}	修正 無修正	336 348	411 371	400 418	400 401	426 398	431 416	401 392

図-14 配合設計強度 σ_{28} 設 と実験強度 σ_{28} 実 との関係



傾向があらわれ、他の s/a による供試体よりわずかながら破壊強度の弱くなる傾向が認められ、その供試体のコンクリート表面にはある程度の空けきが見られた。これは w/c が同一にても仕上コンクリートの密度、透水性、風化、鉄筋のかぶりなどの諸点よりよいコンクリートではなく、最少砂量の限界は設計上のスランプとより併考して s/a が 30% 程度と考えられる。

7. $s/a, \sigma$ と弾性係数の関係

各種配合のコンクリート供試体に対し、標点距離を 20 cm として対称ダイヤルゲージによるひずみ^りを測定して、その応力-ひずみより応力と割線弾性係数の関係を求めることにする。以下、 σ_{180} 、 σ_{240} 、 σ_{300} の場合はほぼ同傾向であるので、 σ_{120} と σ_{300} の結果をとりあげ、玉、砕砂利コンクリートの修正、無修正の場合について計算したものを図示すると、図-15、16 の(a),(b),(c),(d)となる。

σ_{120} の場合について；～玉砂利コンクリートの場合は修正、無修正の場合とも、 σ_c と E_c との関係はほとんど同傾向であるが、前者の場合 σ_c が大となるにしたがい s/a が 34% 以上は後者より大きい E_c 値を示す。砕

図-15 (a) 玉砂利コンクリートの修正 σ_{120} の場合の $\sigma_c - E_c$ の関係

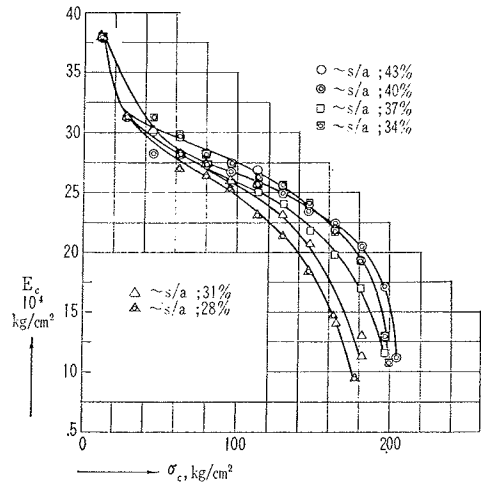


図-15 (b) 玉砂利コンクリートの無修正 σ_{120} の場合の $\sigma_c - E_c$ の関係

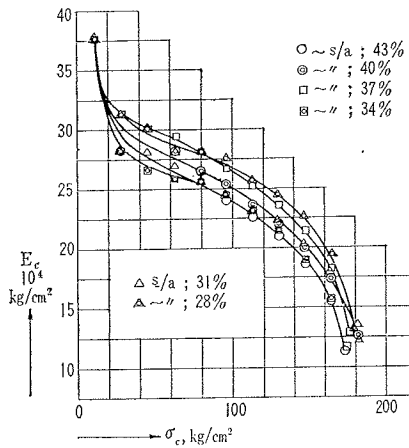


図-15 (c) 砕砂利コンクリートの修正 σ_{120} の場合の $\sigma_c - E_c$ の関係

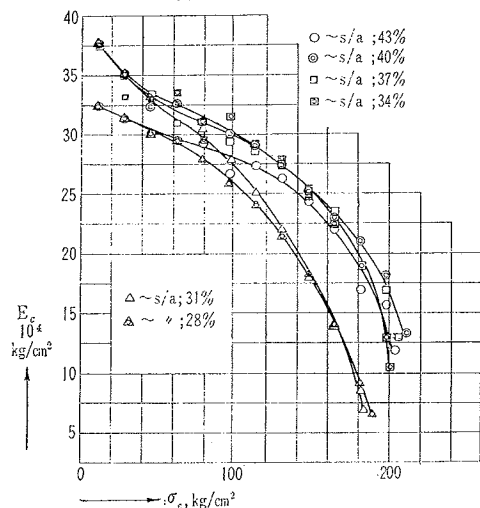


図-15 (d) 砕砂利コンクリートの無修正 σ_{120} の場合の $\sigma_c - E_c$ の関係

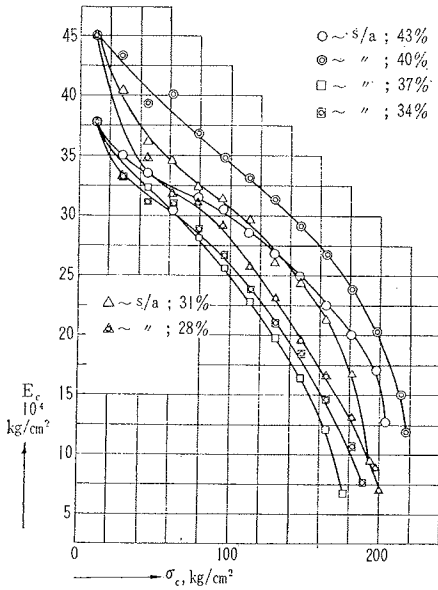
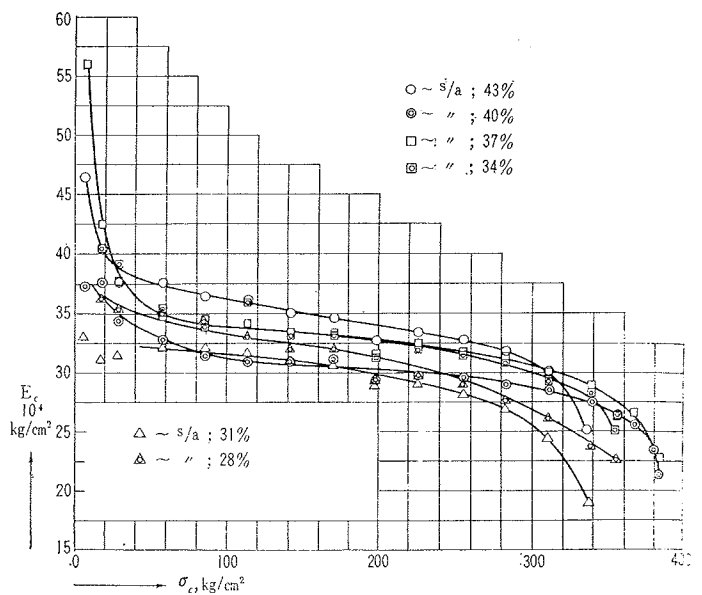


図-16 (a) 玉砂利コンクリートの修正 σ_{300} の場合の $\sigma_c - E_c$ の関係



砕砂利コンクリートの修正の場合、 s/a 31, 28% の両場合は他より小さい E_c 値となるが、無修正の場合は s/a の関係なく修正の場合とほぼ同程度の範囲の値を示す。玉、砕砂利コンクリートの修正の場合は E_c 値はほとんど同値を示すが、無修正の場合は砕砂利コンクリートの場合が大きい値となる。

σ_{300} の場合について；玉、砕砂利コンクリートの修正、無修正の場合、各 s/a に対しほぼ同傾向、同値であるが、砕砂利コンクリートにおいては s/a が 28% のものはともに小さい E_c 値となる。そして修正、無修正とも砕砂利コンクリートのほうが、全域にわたり大きい E_c 値である。

以上にて考察すると、玉、砕砂利コンクリートともに σ_c が小さい場合は応力が破壊強度に近づくにしたがい、 E_c 値が相当に小さくなる傾向であるが、 σ_c が大きいコンクリートでは破壊近くまでその減少率がきわめて小さい。玉、砕砂利コンクリートについては同じ配合設計において、後者の方が大きい E_c 値を示す。

8. 結 言

コンクリートの配合設計において仮示方配合が決定された後、割合に容易に所要のコンシステンシーが得られ経済的な示方配合を定めるためには、細骨材率の変化によることが望ましい一方法であるという結果をえた。以下得られた要項をあげると、

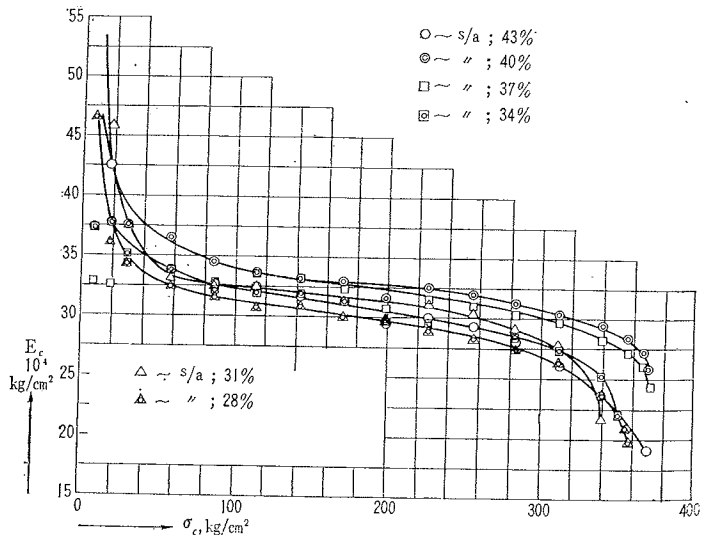
(1) 玉、砕砂利コンクリートとも各に対して、細骨材率とスランプの関係は、骨材粒形ならびに表面の粗度、 σ_c の大なる場合にはセメントペーストの濃度にも影響されるが、実験上からは一般につきの指数関数形式であらわされる。

$$y = \alpha c^{\beta} s/a, \quad y = \text{スランプ量}, \quad s/a = \text{細骨材率}, \\ \alpha, \beta = \text{定数}$$

(2) 玉、砕砂利コンクリートともスランプ量は混合骨材の密度に関係なく、主として骨材表面積に対するセメントペースト量に影響される。

(3) 玉、砕砂利コンクリートとも各細骨材率のコンクリートに対し、コンクリート強度はほぼ一定の結果を

図-16 (b) 玉砂利コンクリートの無修正 σ_{300} の場合の $\sigma_c - E_c$ の関係



えたが、砕砂利コンクリートの強度の大きい場合には細骨材率が28%前後になると、ブリージング、骨材分離の傾向があり、供試体表面に空けきを生じ強度もわずかに小さくなった。ゆえにこのようなコンクリートに対しては、細骨材率の限界がみとめられる。

(4) 割線弾性係数について、各細骨材率の玉、砕砂利コンクリートとも、ほとんど同傾向、同値に近い値である。コンクリート強度の小さいものは急減、強度の大きいものは緩減の傾向にて、砕砂利コンクリートは玉砂利コンクリートより大きい E_c 値を示した。

(5) 配合設計にあたってのスランプの調整は、玉砂利コンクリートは修正、無修正いずれの場合にてもよいが、砕砂利コンクリートの場合は修正の場合によるべきである。

本実験的研究にご協力いただいた本科 長谷川 博氏、卒業の学生牛島達（大林組）、桑原孝昭（安宅産業 KK）、西田文美（国有鉄道）、丸川和見（熊谷組）の諸君に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 杉木六郎：セメントコンクリート，No. 119, 1957.
- 2) 吉本 彰：セメントコンクリート，No. 166, 1960.
- 3) 後藤 清：セメントコンクリート，No. 57, 1951.
太田誠一郎：土木学会誌，第36巻，第3号，1951.
渡辺 昇：セメントコンクリート，No. 141, 1958.
荒木謙一：日本セメント技術協会テキスト，1961.
今井芳雄：工学研究，No. 12, 1961.
- 4) 近藤・坂：コンクリートハンドブック，1957.
- 5) 沓沢 新：セメントコンクリート，No. 210, 1962.

図-16 (c) 砕砂利コンクリートの修正 σ_{300} の場合の $\sigma_c - E_c$ の関係

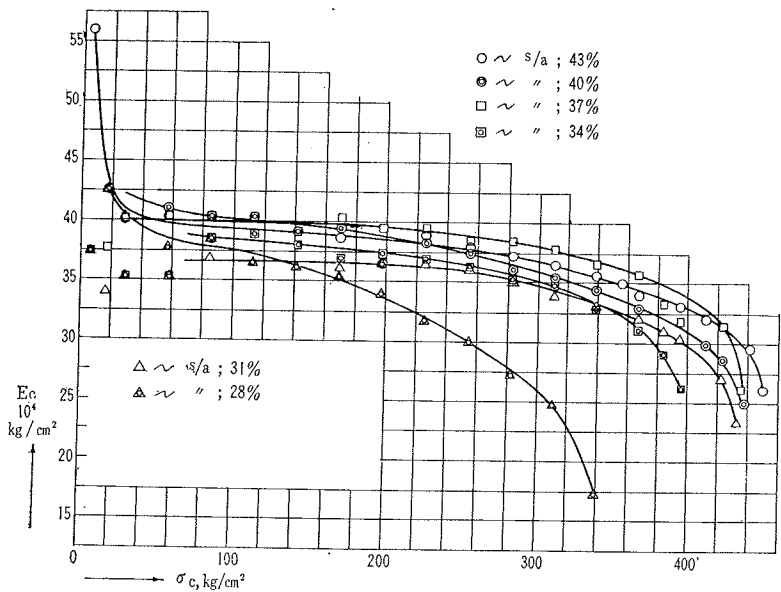
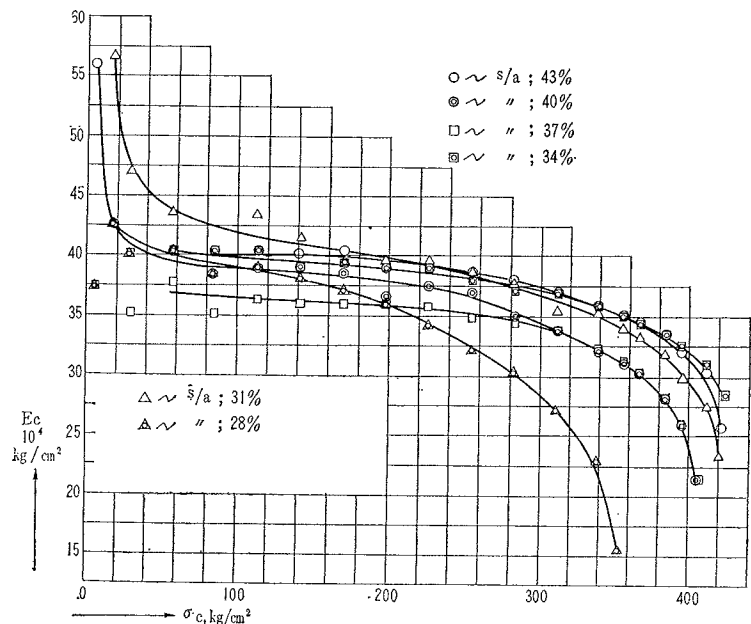


図-16 (d) 砕砂利コンクリートの無修正 σ_{300} の場合の $\sigma_c - E_c$ の関係



- 6) ACI, Recommended Practice for Selecting Properties for Concrete, 1954.
- 7) 著者：セメント技術年報，1954.
- 8) S. Popovics: Vol. 61, No. 1, ACI, 1964.

(1965. 4. 5. 受付)

論文集への討議について

本号掲載の全論文に対して討議を受付けております。討議をされる方は下記の要項をご参照の上、昭和41年3月20日までに論文集編集委員会へてご提出下さい。

記

1. 討議は論文集掲載全論文を対象とします。
2. 討議の受付は論文集掲載後6ヵ月以内とします。
3. 討議原稿を提出するときは学会原稿用紙に必要事項を記入のうえ論文集編集委員会へてご提出下さい。
4. 討議原稿の取扱いは論文集編集委員会にご一任下さい。
5. 討議に関する問合せは論文集編集委員会へご連絡下さい。

昭和40年度土木学会論文集編集委員

委員長	村上 永一	副委員長	栗津清蔵	委員	曾根学	委員	長谷川 鎧一
委員	阿都英彦	委員	大橋昭光	委員	津野和夫	委員	堀口孝嘉
委員	青木山政	委員	大神月徳	委員	堤榑東一	委員	松本原上博
委員	伊藤喜行	委員	角田直和	委員	榑遠山井	委員	宮村森都
委員	石板倉忠興	委員	小工藤林一	委員	永永倉部	委員	持山永口
委員	池田康平	委員	佐武道正	委員	南南村	委員	山山山
委員	岩井彦一	委員	沢口昌成	委員	中西沢	委員	山山山
委員	尾崎芳夫	委員	白石石成	委員	西野文	委員	山山山
委員	尾仲章夫	委員	鈴木一	委員		委員	山山山
委員兼幹事	西脇 威夫						

昭和40年9月15日印刷
昭和40年9月20日発行

土木学会論文集 第121号

定価 150 円 (〒 20 円)

編集兼発行者 東京都新宿区四谷一丁目 社団法人 土木学会 羽田 巖
印刷者 東京都港区赤坂溜池5 株式会社 技報堂 大沼 正吉

発行所 社団法人 土木学会 振替東京 16828 番

東京都新宿郵便局区内 新宿区四谷一丁目 電話 (361) 代表 5138 番