

砕石細砂を使用したコンクリートの諸性質について

SOME PROPERTIES OF CONCRETE USING CRUSHED
GRAVEL AND FINE SAND

榎 場 重 正* ・川 村 満 紀** ・大 深 伸 尚***
夏 川 亨 介**** ・斎 藤 満*****

By Shigemasa Hasaba, Mitsunori Kawamura, Nobuhisa Ofuka,
Kyoosuke Natsukawa and Mitsuru Saito

1. ま え が き

河川より骨材として採取できる掃流土砂の減少や、過去数十年にわたる川砂利、川砂の使用により、近年骨材の不足、およびそれに伴う採取の規制あるいは禁止が伝えられ、わが国建設業界における重大な問題となっている。これらの解決策として、粗骨材においては次第に砕石の使用がさかんになっている。細骨材においては、人工砂、つまり砕石のように製作に経費を要しない資源として、膨大な量の海岸砂丘砂がコンクリート用として使用できるならば、良質の骨材を産出する大河川のない地方はもちろん、砂丘海岸線を有する地方、およびその近辺都市にとり非常に有利であると思われる。

過去数十年にわたる数多くの実験研究より、砕石コンクリートの難点は次第に除去され、技術的には天然骨材と同様に使用し得る状態で、砕石の使用はそれほど問題となるところではない。しかしこれに細骨材とし、海岸砂丘砂を使用する場合、一般に問題となる点は、砂粒子が奇粒かつ細粒で塩分を含み、ときとして軟弱な貝殻類、および有機不純物が混在することである。

石川県内灘地方に産する膨大な量の砂丘砂については、軟弱な貝殻類の混在はほとんど認められず、有機不純物についてもほとんど考慮する必要がない。塩分については、汀線より300m程度離れると、許容値の0.01

%よりはるかに少なく、その影響を考慮する必要はない。それゆえ、内灘地方に産する海岸砂丘砂使用には、砂粒子が奇粒かつ細粒である点が問題となるところである。

過去において海岸砂丘砂と川砂利を組み合わせたコンクリートの性状に関する研究が²⁾、一部報告されているが、本実験研究は、それらを参考にさらに海岸砂丘砂の使用を一般化しようとするもので、とくにこれら海岸砂丘砂のように、土木学会コンクリート標準示方書の標準粒度に比較し、かなり細かな粒度の砂と、ワーカビリティの点で不利な砕石とを組み合わせる場合、配合、ワーカビリティ、強度などについて、普通粒度の砂を使用した場合に比較し、いかなる点に留意すべきか、またいかなる関連性を示すか、あるいはもっと初期の問題として、實際上使用が可能であるかどうかを知ろうとするものである。

2. 実験使用材料

- セメント：使用したセメントはS社の普通ポルトランドセメントであり、セメントの物理的性質、および強度試験結果を表-1(a),(b)に示す。
- 骨材：細骨材としては、比重2.59、吸水率1.0%の内灘海岸砂であり、全量0.6mmふるいを通過するものである。

表-1(a) セメント試験結果

種 別	項 目	比 重	粉末度 88 μ 残分(%)	ブレン 比表面積 (cm ² /g)	凝				結		安 定 度 (煮沸法)
					室温(°C)	水温(°C)	湿度(%)	水量(%)	始発時間	終結時間	
日本工業規格 R5210		3.05以上	10.0以下		20 \pm 3	20 \pm 3	80.0以上		1時間以後	10時間以内	安 定
平 均		3.15	4.2		20.0	20.0	85.0	27.8	2時間55分	4時間16分	

* 正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木工学教室
** 正会員 工修 金沢大学講師 工学部土木工学教室
*** 正会員 工修 金沢大学助手 工学部土木工学教室

**** 正会員 工修 中央復建コンサルタンツ
***** 正会員 工修 金沢工業大学助手 土木工学教室

表-1 (b) セメント試験結果

項目 種別	フロー (mm)	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)			養生水温 (°C)		
		3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
日本工業規格 R5210		15 以上	25 以上	40 以上	55 以上	110 以上	220 以上	20±3	20±3	20±3
平均	222	26.4	41.5	65.6	94.4	184.2	349.8	20.0	20.0	20.0

粗骨材としては、比重 2.63、吸水率 0.5% の手取川産の玉砕である。粗骨材はインペラプレーカーによって砕かれ、トロンメルによってふるい分けられた 5~10 mm、10~20 mm、20~30 mm、30~40 mm の各種を改めて実験室で振動ふるい分け機でふるい直し、これらをコンクリート標準示方書の粒度範囲に含まれるよう再配合して使用した。

3. 実験方法

○単位セメント量

250 kg/m³、300 kg/m³、350 kg/m³ の 3 種類。

○粗骨材の最大寸法

20 mm、25 mm、40 mm の 3 種類を採用し、粒度はそれぞれの最大寸法に対して、土木学会コンクリート標準示方書の示す標準範囲の中間粒度とした。

標準示方書の粒度範囲、および本実験における粒度分布を図-1、図-2、図-3 に示す。

○細骨材の粒度

細骨材は全量 0.6 mm ふるいを通過するものを、さらに 0.3 mm ふるいでふるい分け、表-2 に示すよ

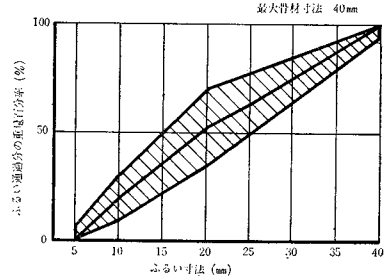


図-3 粗骨材粒度の標準範囲と粒度曲線

表-2 細骨材の粒度

種別 ふるい寸法 (mm)	A	B	C
0.60	0	0	0
0.30	50	67	75
0.15	99	99	99
F.M.	1.49	1.66	1.74

各ふるい残留：百分率

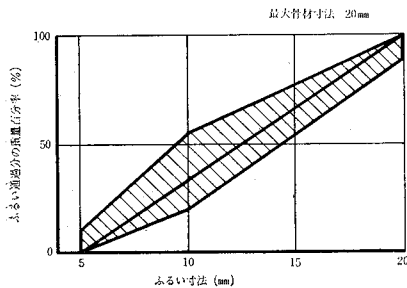


図-1 粗骨材粒度の標準範囲と粒度曲線

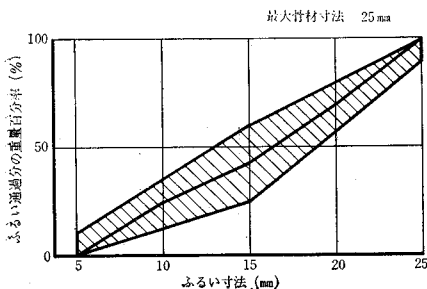


図-2 粗骨材粒度の標準範囲と粒度曲線

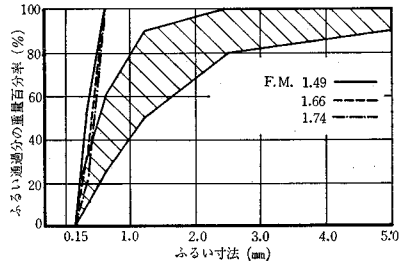


図-4 細骨材粒度の標準範囲と粒度曲線

うに再配合して、F.M. が 1.49、1.66、1.74 の 3 種類となるようにした。粒度分布は図-4 に示す。

○スランブ

単位セメント量 300 kg/m³ の場合のみ、12.5 cm、7.5 cm、2.5 cm の 3 種類を目標に配合を行ない、単位セメント量 250 kg/m³、350 kg/m³ においては 7.5 cm、2.5 cm の 2 種類を目標とした。

○細骨材率

単位セメント量 300 kg/m³ において、スランブ 12.5 cm、7.5 cm のコンクリートに対しては、S/A は 39~24% の範囲で、3% 間隔に 6 種類、スランブ 2.5 cm の場合には、S/A は 42~27% の範囲で 3% 間隔に 6 種類採用した。

単位セメント量 250 kg/m³、および 350 kg/m³ においては単位セメント量 300 kg/m³ の場合を参考に

して、コンクリートの性質が良好であると思われる S/A の範囲、30%、33%、36% の3種類を採用した。以上の組み合わせに対し、まだ固まらないコンクリートの試験を行ない、強度試験用供試体を作成した。

なお、以上の各組み合わせより、単位セメント量 250 kg/m^3 では、最大骨材寸法 40 mm と砂の F.M. 1.74 の組み合わせ、単位セメント量 350 kg/m^3 においては、最大骨材寸法 40 mm および 20 mm と砂の F.M. 1.66 、 1.74 の組み合わせにおいて、スランブ 2.5 cm 、および 7.5 cm の双方を省略した。また単位セメント量 300 kg/m^3 では、砂の F.M. 1.66 および 1.74 において、砂の F.M. 1.49 の場合を参考にして、 S/A 2種類のみについて実験をすすめた。

またすべてのパッチにつき、図-5 に示すような装置により、振動リモールジング試験を行ない、同一スランブのコンクリート間における振動締固めの際のワーカビリティの判定資料とした。

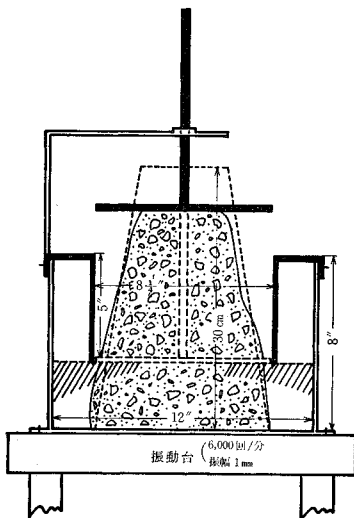


図-5 振動リモールジング試験装置

3. 実験結果とその考察

(1) S/A と単位水量の関係について

図-6 は S/A と単位水量の関係を示す一例である。一般に、コンクリートの配合において、普通粒度の砂 (F.M. 2.75 程度) と川砂利を使用したコンクリートにおいては、コンクリートがプラスチックでワーカブルであった場合には“ S/A を 1% だけ増加して同一スランブのコンクリートを得ようとする場合には、単位水量を 1% 増加すればよい”といわれている。すなわち S/A を 1% 増減するごとに同一スランブを得るために、約 1.5 kg/m^3 の単位水量を増減すればよいことになる。

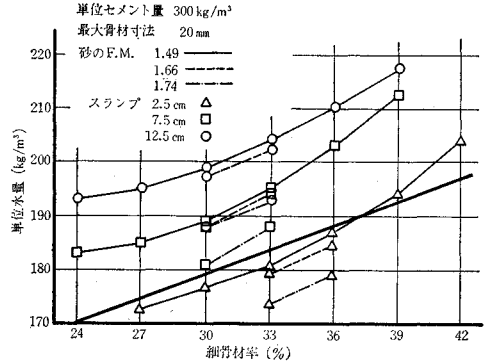


図-6 単位水量と細骨材率の関係

図中太線は普通コンクリートにおける S/A の増加に対する単位水量増加のおよその値を示す線である。

単位セメント量 300 kg/m^3 においては、 S/A が 24% から 30% までは普通粒度の砂の場合と比較して、 S/A の増加による単位水量の増加は同程度で、コンクリートは荒々しく材料の分離を生じやすい。コンクリートがワーカブルとなる S/A の範囲 $30\sim 36\%$ において、表-3 に示すように単位水量の増加はやや大きくなる。さらに S/A が $36\sim 42\%$ の砂過多である場合においては、極度に単位水量が増加して、強度の低下が問題となる。

表-3 S/A 1% の増加に必要な単位水量の増加量 (kg/m^3) (S/A の範囲 $30\sim 36\%$)

最大骨材寸法 (mm)	単位セメント量 (kg/m^3)			
	スランブ (cm)	250	300	350
20	2.5	1.9	1.7	1.5
	7.5	1.9	2.3	1.8
	12.5	—	1.8	—
25	2.5	2.2	1.8	1.8
	7.5	2.4	2.5	2.0
	12.5	—	1.7	—
40	2.5	2.2	1.7	2.2
	7.5	2.8	2.5	2.2
	12.5	—	2.3	—

S/A の増加による単位水量の増加量を総括的にみると、碎石細砂コンクリートでは、後述するように、コンクリートがプラスチックでワーカブルで、 S/A の増加により強度の低下をきたすことのない S/A の範囲は、 $30\sim 36\%$ の範囲で、 S/A が 1% 増加することにより、同一スランブを得るための単位水量の増加量はおよそ 2.1 kg/m^3 (単位水量の約 1.2%) と、普通粒度の砂を用いた場合より、やや大きな値となった。

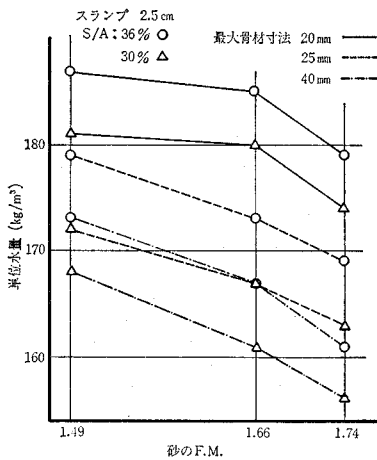
(2) 砂の粗粒率と単位水量の関係について

砂の F.M. と単位水量の関係は図-7、図-8 に示すとおりである (S/A が、 30% 、 33% 、 36% の範囲)。

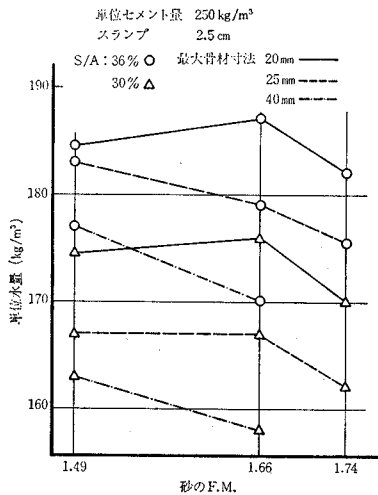
これらの関係は、最大骨材寸法が 20 mm の場合において、最大骨材寸法 25 mm および 40 mm の場合と非常に異なることが見うけられる。たとえば、単位セメント量 250 kg/m³ の場合では、砂の F.M. が 1.49 から 1.66 に増加した場合、単位水量はわずか 0.5 kg/m³ 程度の減少、あるいは逆に 2.0 kg/m³ 程度の増加をきたすが、砂の F.M. が 1.66 から 1.74 に増加した場合には、約 5.0 kg/m³ という多量の単位水量の減少がみられる。単位セメント量 300 kg/m³ においても、砂の F.M. が 1.49 から 1.66 に増加した場合においては、わずか 1.0 kg/m³ の単位水量の減少にすぎないが、砂の F.M. が 1.66 から 1.74 に増加した場合には、6.0~9.0 kg/m³ という多量の単位水量減少を示す。このことは、最大骨材寸法が 25 mm, 40 mm においては、砂の F.M. 1.49, 1.66, 1.74 における単位水量の変化がほぼ直線的であるのにくらべ注目すべきことである。単位セメント量 350

kg/m³ については、データ不足により明確にはできないが、川砂利と細砂を組み合わせたコンクリートにおいても、砂の F.M. 変化に対して、砕石細砂コンクリートと同様の傾向がみうけられるようである。

一方、普通粒度の砂を使用した場合、砂の F.M. の変化による単位水量の変化は、砂の F.M. が 0.1 増加するごとに、同一コンシステシーのコンクリートを得るためには、単位水量を約 0.8 kg/m³ 減ずることができるとされている。砕石細砂を使用したコンクリートの場合における砂の F.M. 0.1 の増加に対する単位水量の減少量を平均した数値で表わすと、表—4 のようになる。表よりわかるように、砂の F.M. 1.49 から 1.66 への増加のさいの、最大骨材寸法 20 mm の場合における特別な例を除いて考えると、普通粒度の砂を使用したコンクリートの場合に比較して、単位水量の減少が非常に大きい値を示すことがわかる。このことより一般に普通粒度の砂を使用したコンクリートに比較して、本実験におけるがごとく、土木学会の標準粒度範囲をはるかに越える細砂を使用したコンクリートは、砂の F.M. の減少による単位水量の増加が非常に大きく、単位水量の決定にあたり砂の F.M. が重要な役割をはたすことがわかる。



図—7 単位水量と細骨材の F.M. の関係



図—8 単位水量と細骨材の F.M. の関係

表—4 砂の F.M. 0.1 の増加に対する単位水量の減少量 (kg/m³)

単位セメント量 (kg/m ³)	砂の F.M.	1.49~1.66			1.66~1.74			
		スランプ (cm)	2.5	7.5	12.5	2.5	7.5	12.5
250	20	2.5	-1.2	0.3	—	6.9	5.6	—
	25	2.5	1.2	2.1	—	5.3	0.6	—
	40	2.5	3.0	3.2	—	—	—	—
300	20	2.5	0.9	0.6	1.2	7.6	8.0	11.0
	25	2.5	3.1	2.3	2.2	4.9	4.0	2.4
	40	2.5	3.1	3.0	2.4	6.6	4.5	3.7
350	25	2.5	4.1	2.9	—	5.6	3.1	—
		7.5	—	—	—	—	—	—

(3) 使用セメント量と単位水量の関係

図—9 は使用セメント量と単位水量の関係を示す一例である。

一般に S/A と粗骨材の最大寸法が同じである場合、使用セメント量の多少は、ワーカビリティーに多大の影響をおよぼし、使用セメント量が多量であるほどワーカブルであるといえる。いま単位セメント量を増加しつつ、ワーカビリティーと密接な関係を有するスランプを一定に保つと、当然単位セメント量の増加による単位水量の減少が考えられる。砕石細砂を使用したコンクリートにおいても、単位セメント量の増加による単位水量の減少傾向が見うけられる。

いま、単位セメント量 100 kg/m³ 増加させた場合の単位水量の減少を総合的に求めてみると、表—5 に示すよ

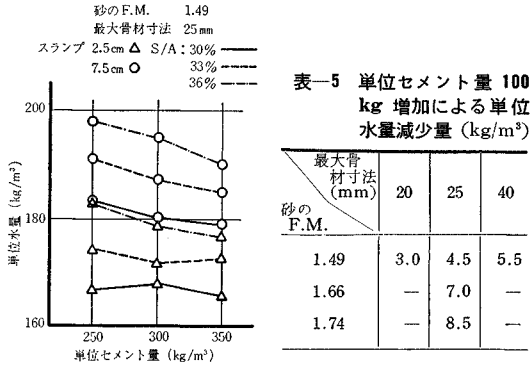


図-9 単位水量と単位セメント量の関係

うになる。表よりわかるように最大骨材寸法が大きくなるほど、また砂の F.M. が大きくなるほど、単位セメント量の増加による単位水量の減少量は大きくなる。

(4) スランプと単位水量の関係

図-10 はスランプと単位水量の関係を、S/A および最大骨材寸法別に整理したものを示す一例である。

一般に普通粒度の砂を使用したコンクリートにおいては、スランプの増加に必要な単位水量の増加は、硬練りの方が中練りの場合に比較して大きいとされ、中練り付近のスランプ 1 cm の増加に要する単位水量の増加は、単位水量の約 1.2% 程度とされている。これと本実験の結果とを比較すると、図よりわかるように、細砂を使用したコンクリートの場合も、スランプ 2.5 cm から 7.5 cm の増加に必要な単位水量の増加が、スランプ 7.5 cm から 12.5 cm における単位水量の増加より大きく普通粒度の砂を使用したコンクリートと同様の傾向となっている。なおその傾向は、S/A の大きい場合ほど顕著であり、S/A が 27% のような砂過少のものにおいては、上記のような傾向は、それほど存在しないようである。

砂の F.M. 1.49 において、スランプが 2.5 cm から 7.5 cm に増加した場合に、スランプ 1 cm の増加に必

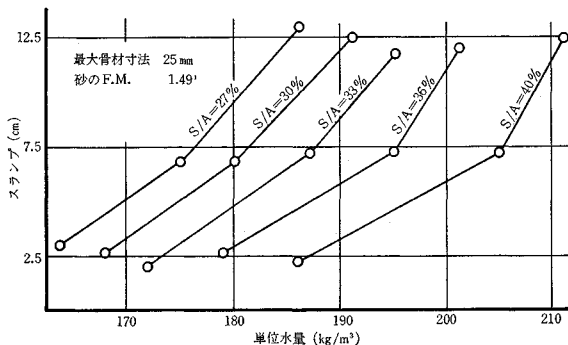


図-10 スランプと単位水量の関係

表-6 スランプ 1 cm の増加に必要な単位水量の増分 (%) (スランプ 2.5 cm から 7.5 cm に増加する場合)

最大骨材寸法 (mm)	単位セメント量 (kg/m³)	S/A (%)			
		36	33	30	平均
20	250	1.57	1.72	1.61	1.63
	300	1.75	1.64	1.28	1.56
	350	1.81	1.92	1.82	1.85
25	250	1.78	1.83	1.77	1.79
	300	1.94	1.69	1.73	1.79
	350	1.89	1.88	1.86	1.88
40	250	1.74	1.44	1.80	1.68
	300	1.89	1.61	1.39	1.62
	350	0.96	0.99	0.96	0.97

要な単位水量の増加分を平均した数値であらわすと、表-6 のようになる。この表よりわかるように、スランプ 2.5 cm から 7.5 cm に増加する場合において、最大骨材寸法 40 mm、単位セメント量 350 kg/m³ の場合のみ、単位水量の増加百分率は約 1.0% と小さいが、その他においてはほとんど同様の値を示し、これらすべての平均値は約 1.6% となる。また単位セメント量 300 kg/m³ の場合におけるスランプ 7.5 cm から 12.5 cm に増加した場合の、スランプ 1 cm の増加に必要な単位水量の増加百分率の平均は約 0.9% となる。したがって、中練り付近 (スランプ 7.5 cm 程度) におけるスランプ 1 cm の増加に必要な単位水量の増加百分率は、上述の値から約 1.2% となり、普通粒度の砂を使用したコンクリートの中練りの場合における増加百分率約 1.2% という値に一致する。これより、碎石細砂を使用したコンクリートにおいても、スランプの変化に対する単位水量の変化は、普通粒度の砂を使用したコンクリートの場合と大差ないと考えてさしつかえない。

なお、砂の F.M. が 1.66, 1.74 の場合においても、砂の F.M. 1.49 の場合と同様の傾向を有し、砂の F.M. の相違による差は、ほとんどないと思われる。

(5) 振動リモールジング試験について

ここで述べる振動リモールジング試験とは、普通のリモールジング試験用器具を、振動数 6 000 rpm、振幅 1 mm の振動締め固め機の台上に固定して、落下運動の代わりに、振動を与えてリモールジングに要する時間(秒)を測定して、振動リモールジング値としたものである。振動数、振幅については、特別な検討を経て決定したものではないが、一般に行なわれる振動締め固めの際の、ワーカビリティの判定には十分利用できるものとする。

図-11 は振動リモールジング値と S/A の関係を示す一例である。それぞれ同一スランプにおける結果を表わしたものであるが、図に示すとおり同一スランプ

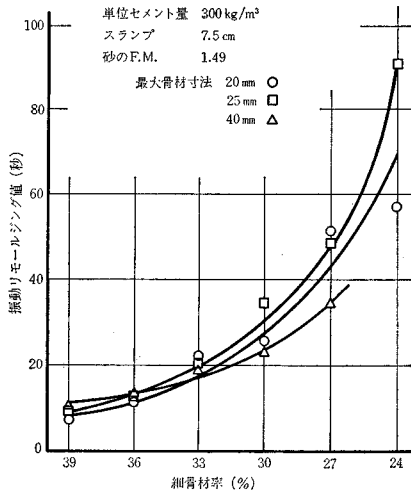


図-11 振動リモールジング値と細骨材率の関係

のコンクリートにおいても S/A の変化により、振動リモールジング試験によるワーカビリティは著しく異なることがわかる。すなわち、単位セメント量 300 kg/m³ において、 S/A が 24%、27% と砂過少の荒々しいコンクリートにおいては、振動リモールジング値は、スランブ 2.5 cm、7.5 cm、12.5 cm とすべての場合を含めて 60 秒から 270 秒までの大きな値を示し、 S/A が 42%、39% の砂過多のコンクリートでは 10 秒前後の小さい値を示す。単位セメント量 350 kg/m³ および 250 kg/m³ のコンクリートにおいては、 S/A が 30% の振動リモールジング値は、スランブ 7.5 cm、2.5 cm とともに 60~120 秒程度、 S/A が 36% では 10~30 秒程度の振動リモールジング値を示す。

一般に、振動リモールジング試験においては S/A が 27%、あるいは 24% の砂過少のコンクリートでは、振動リモールジング値は急激に上昇し、同一スランブのコンクリートにおけるワーカビリティは非常に悪くなるといえる。これより、ワーカビリティという点を考慮する場合、細砂と碎石とを使用するコンクリートにおいては、 S/A の値が 30% 以上であることが必要となる。図

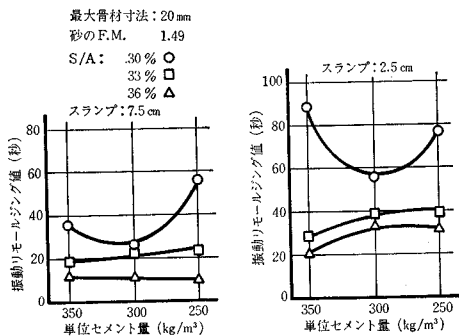


図-12 振動リモールジング値と単位セメント量の関係

—12 は単位セメント量を変化させた場合の振動リモールジング試験結果を示す一例であり、それぞれ同一スランブ、および同一最大骨材寸法における結果を表わしたものである。

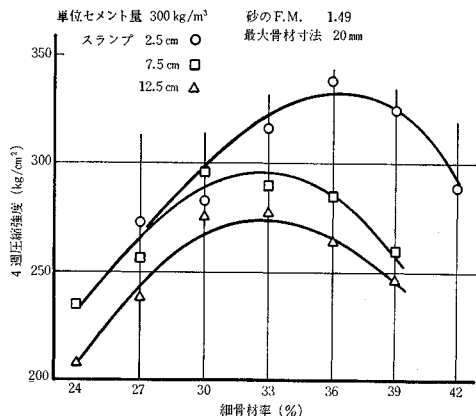
一般に、他の条件が同一であると、単位セメント量が多いほどコンクリートはワーカブルであるといわれているが、 S/A が 33%、36% の場合には、単位セメント量の変化によって振動リモールジング値は、ほぼ直線的に変化する。しかし S/A が 30% の場合においては、図に示すように下に凸の関係を有する。この原因としては、単位セメント量 350 kg/m³ は富配合のコンクリートであり、 S/A 30% の場合とくに粘着性が大きくなり、粗骨材の移動をさまたげ、ひいては骨材のかみ合いを生ずるため、また単位セメント量 250 kg/m³ は貧配合のコンクリートであり、粘着性も小さく、振動による細粗骨材の移動が容易で分離を生じやすく、振動締めめに時間を要するということが考えられる。このことより、先に細砂と碎石を使用したコンクリートでは、ワーカビリティの点より S/A が 30% 以上である必要があることを述べたが、 S/A が 30% の場合においては、単位セメント量の多少により、同一スランブでもワーカビリティに多大の影響をおよぼすことがあるので注意を要する。

一般に、粗骨材の粒形の丸形のものが、ワーカビリティの面で有利といわれているが、本実験研究における結果より碎石細砂を使用したコンクリートにおいても、粗骨材の粒度分布が良好で、適当な S/A を決定することにより、十分ワーカブルでプラスチックなコンクリートを得ることを確信する。

(6) S/A と 4 週圧縮強度の関係について

単位セメント量 350 kg/m³、および 250 kg/m³ においては、単位セメント量 300 kg/m³ における結果をもとにして、 S/A は 30%、33%、36% の 3 種類を採用したにすぎないので、ここでは主に単位セメント量 300 kg/m³ の場合について述べる。

図-13 は最大骨材寸法別に各スランブについて、 S/A と 4 週圧縮強度の関係のプロットしたものの一例である。本実験においては、ワーカビリティはかなり不良であろうと予想して計画した S/A 24% は、やはり肉眼の観察によってもワーカビリティの悪さがみうけられ、スランブ試験やタッピングの際に完全な形を残したものはほとんどなく、すべて一方が崩れ落ちる結果となった。また S/A が 27% においても、配合により、スランブ試験の際、崩れる現象がみられ、 S/A が 30% においてはかなり荒々しく感じられるコンクリートもあったが、スランブ試験の際、崩れ落ちるような現象は見うけられなかった。以上のような現象を考慮して、 S/A と 4 週圧

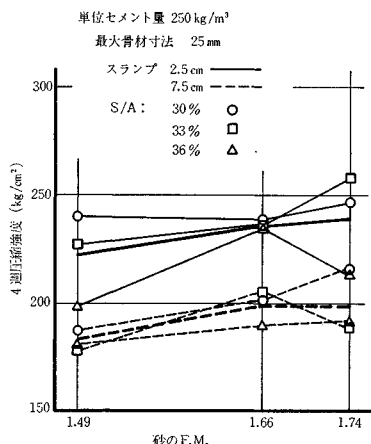


図一13 4週圧縮強度と細骨材率の関係

縮強度の関係を検討すると、碎石細砂を使用したコンクリートにおいては、ワーカビリティが不足すると、それに比例して4週圧縮強度の低下が著しく、スランptest験において、形が崩れる S/A 27%、および 24% のコンクリートにおいては十分な締固めを必要とし、その結果分離を生じ、強度の伸びは期待できない。

一方、図より明らかなように、スランptest験 2.5 cm 程度の硬練コンクリートにおいては、4週圧縮強度を最高にする S/A の範囲は、33~36% であり、スランptest験 7.5 cm および 12.5 cm の中練りおよびやわ練りの場合においては、S/A の範囲 30~33% が最も良好である。以上の結果より、4週圧縮強度に関しては S/A は 30~36% の範囲が適当であることがわかる。これは、先の振動リモデルジグ試験によるワーカビリティの点に関しても満足いくものであり、F.M. 1.49 の細砂と碎石とを組み合わせたコンクリートにおいては、4週圧縮強度、ワーカビリティの両面において、S/A 30~36% が最も適当と考える。

図一14 は砂の F.M. と 4週圧縮強度の関係を示すも



図一14 4週圧縮強度と細骨材の F.M. の関係

ので、太線は平均値を示すものである。ここでとりあげた S/A の範囲は、強度およびワーカビリティの点を満足する 30~36% である。

図においては、砂の F.M. の増加により、やや4週圧縮強度の増加が認められるが、すべてを総括的にみれば、砂の F.M. と4週圧縮強度の相関関係は認めにくく、単位セメント量 250 kg/m³ の場合においては、4週圧縮強度は 220 kg/cm² を境にすべて ±60 kg/cm² の範囲に、単位セメント量 300 kg/m³ では、300±80 kg/cm²、単位セメント量 350 kg/m³ では、400±80 kg/cm² の範囲に含まれる。先に砂の F.M. と単位水量の関係を述べた際明らかなように、砂の F.M. を 0.1 増加することによる単位水量の減少量は、最大骨材寸法 20 mm の場合を除いて、普通粒度の砂を使用したコンクリートより、碎石細砂コンクリートが非常に大きな値であったことから、セメント水比と4週圧縮強度の関係より当然強度は増加すべきであるが、大きな強度増加は認められず、この原因がいかなるものであるかは、現状では明らかではない。

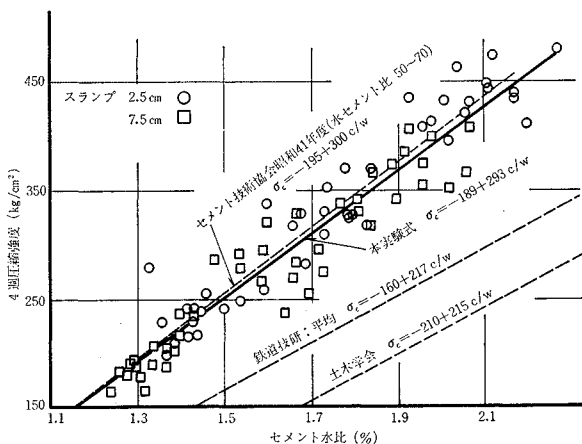
(7) セメント水比と4週圧縮強度の関係について

一般に、普通コンクリートにおいては、コンクリートがプラスチックでワーカブルな範囲においては、圧縮強度は、セメント水比に比例し、

$$\sigma_{c28} = K_n(A \cdot c/w - B) \quad (K_n, A, B \text{ は定数})$$

表一7 4週圧縮強度とセメント水比の関係式

最大骨材寸法 (mm)	砂の F.M.		
	1.49	1.66	1.74
40	$\sigma_{c28} = -150 + 271 c/w$	—	—
25	$\sigma_{c28} = -202 + 300 c/w$	$\sigma_{c28} = -200 + 283 c/w$	$\sigma_{c28} = -200 + 294 c/w$
20	$\sigma_{c28} = -180 + 348 c/w$	—	—



図一15 4週圧縮強度と水セメント比の関係

で表わされる。本実験においても、スランプ 2.5 cm, 7.5 cm において, S/A が 30%, 33%, 36% とコンクリートがワーカブルで強度低下をきたさぬ範囲でとりまどめると, ほぼ上述の関係が認められる。表-7 は, 最大骨材寸法, 砂の F.M., 別に 4 週圧縮強度とセメント水比の関係を求めたものである。表よりわかるように, 砂の F.M. 1.49 においては, 最大骨材寸法が大きくなるほど $\sigma_{c28} - c/w$ 直線の傾きが小になり, かつ切片が大きくなる結果がみうけられる。また, 最大骨材寸法が 25 mm で砂の F.M. が変化した場合は, 実際的にはほとんど変化なしという状態である。

図-15 は砂の F.M., 最大骨材寸法, S/A , スランプなどを無視し, 4 週圧縮強度とセメント水比の関係を图示したもので, 両者の間には,

$$\sigma_{c28} = -189 + 293 c/w$$

なる関係式が成り立つ。これはセメント技術協会昭和 41 年度 (水セメント比 50~70% の範囲) の普通コンクリートの場合の式, $\sigma_{c28} = -195 + 300 c/w$ に非常に類似した関係である。図よりも明らかなように, 土木学会における式 $\sigma_{c28} = -210 + 215 c/w$, 鉄道技術研究所の平均の式 $\sigma_{c28} = -160 + 217 c/w$ に比較し, 砕石細砂コンクリートにおいては, 同一セメント水比において, 十分満足すべき 4 週圧縮強度を得ることができる。

(8) 引張強度について

ここにおいて述べる引張強度は JIS A 1113 による試験法により求めたものであり, 供試体は圧縮強度試験の場合と同様のものを使用している。

図-16 は単位セメント量 300 kg/m^3 における S/A と 4 週引張強度の関係を示すものである。圧裂試験は圧縮試験に比較して, 試験結果にバラツキが大きく, スランプの相違や, 最大骨材寸法の相違による区別は, 明確ではない。図に示されるように, 一般に S/A の増加につ

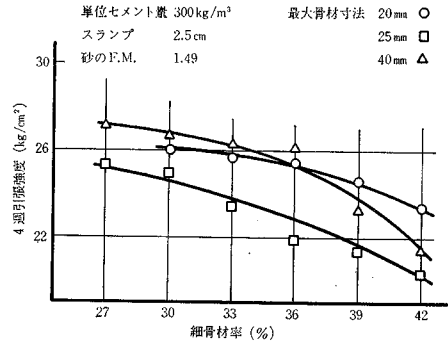


図-16 4 週引張強度と細骨材率の関係

れて 4 週引張強度は低下し, S/A が小さい砂過少のコンクリートにおいても, 圧縮強度におけるように, 急激な強度低下はなく, 強度低下をきたす場合でもゆるやかに徐々に低下する。これは砕石という骨材形状に起因するモルタルの付着強度の増大によるものと思われる。

表-8 は砂の F.M. 1.49 における 4 週引張強度を示し, スランプ 2.5 cm, 7.5 cm, S/A , 30%, 33%, 36% について示したものである。

図-17 はスランプ 2.5 cm, 7.5 cm で S/A が 30%, 33%, 36% における 4 週引張強度と 4 週圧縮強度の関係を示すものである。この関係が指数曲線の関係にあるものと仮定すると (圧縮強度が 150 kg/cm^2 から 450 kg/cm^2 の間において)

$$\sigma_{T28} = 1.40 \sigma_{c28}^{0.52}$$

なる式を得る。この式は, 過去において赤沢³⁾が行なった川砂砕石を使用したコンクリートの 4 週引張強度と 4 週圧縮強度の関係を示す式, $\sigma_{T28} = 0.396 \sigma_{c28}^{0.73}$ および, Narayanan⁴⁾ が同様にして実験を行なった式, $\sigma_{T28} = 0.245 \sigma_{c28}^{0.803}$ と比較して, 4 週圧縮強度が 200 kg/cm^2 から 450 kg/cm^2 の範囲においては, やや良好な 4 週引張強度の値を得る。これより, 普通粒度の砂を使用したコ

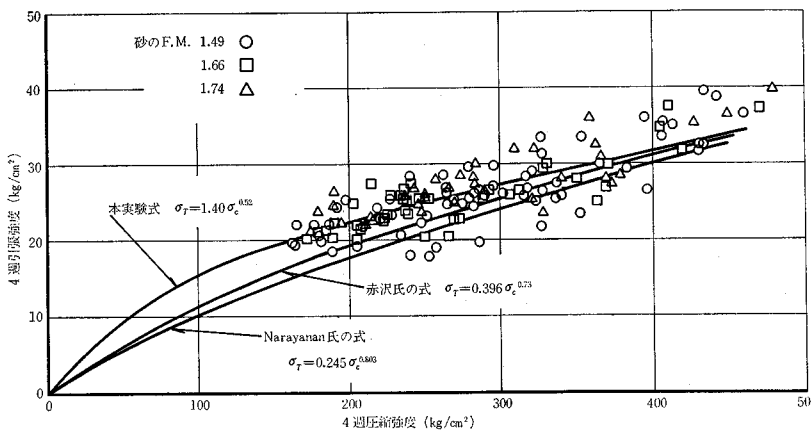


図-17 4 週引張強度と 4 週圧縮強度との関係

表-8 砂の F.M. 1.49 における 4 週引張強度 (kg/cm²)

S/A (%)	スランプ (cm)	
	2.5	7.5
30	250	25.9
	300	25.8
	350	35.8
33	250	21.6
	300	25.1
	350	34.6
36	250	22.0
	300	24.4
	350	35.3

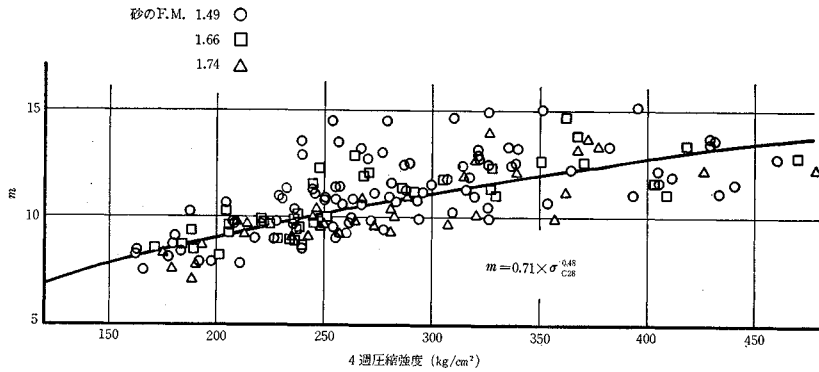


図-18 m と 4 週圧縮強度との関係

ンクリートに比較して、細砂を使用したコンクリートにおいては、同一圧縮強度ではいくぶん良好な引張強度を得、この結果からすれば、細砂がモルタルと骨材の付着に良好な影響をおよぼすことが考えられる。図-18 は 4 週圧縮強度と 4 週引張強度の比、 $m = \sigma_c / \sigma_T$ と 4 週圧縮強度の関係を示すもので、 m と 4 週圧縮強度が指数関係を有するものとする、 $m = 0.71 \sigma_c^{0.48} / \sigma_{c28}^{0.48}$ なる式を得る。

(9) 静弾性係数について

静弾性係数測定には、電気抵抗線ひずみ計を使用し、その値は破壊荷重の 1/3 点と原点を結ぶセカント・モジュラスを求め静弾性係数とした。

碎石細砂コンクリートの各単位セメント量における静弾性係数のおよその値は、表-9 に示すようになり、単位セメント量の増加による静弾性係数の増加がかなり明

表-9 単位セメント量別静弾性係数

単位セメント量 (kg/m³)	静弾性係数(×10⁴ kg/cm²)
250	15~27
300	22~29
350	26~33

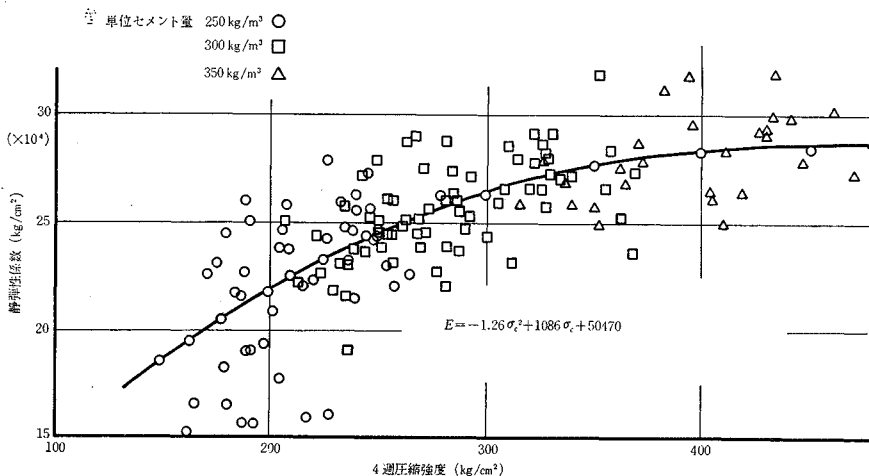


図-19 静弾性係数と 4 週圧縮強度の関係

確にみられる。図-19 は S/A 30%, 33%, 36% における、最大骨材寸法、スランプ、砂の F.M. を無視した場合の静弾性係数と 4 週圧縮強度の関係を示す図である。静弾性係数が 4 週圧縮強度の 2 次関数で示されるものと仮定すると、

$$E_s = -1.26 \sigma_c^2 + 1086 \sigma_c + 50470$$

なる式を得る。この図から

もわかるように、4 週圧縮強度が 200 kg/cm² 付近においては、静弾性係数のバラツキが大きく、低い強度においてはコンクリートの品質の点で多少問題があると考え

5. 結 論

以上の実験より、碎石細砂コンクリートについてつぎのようなことがいえる。

① S/A 1% の変化に対する単位水量の増減は、普通粒度の砂を使用した場合より多少大きく、 S/A 1% の増加により、同一スランプを得るための単位水量の増加は約 2.1 kg/m³ である。

② 砂の F.M. の変化による単位水量の変化は、最大骨材寸法 20 mm の場合は別として、一般に普通粒度の砂を使用したコンクリートに比較して非常に大きく、この種のコンクリートにおける砂の F.M. は、コンクリートの性質に重要な役割をもつと考える。

③ 単位セメント量 100 kg/m³ 増加した場合、同一スランプを得るための単位水量減少は、約 3.0~8.5 kg/m³ である。

④ スランプの変化による単位水量の変化は、従来のコンクリートと同様に考えることができ、スランプ 1 cm の変化による単位水量の増減は約 1.2% と考えられる。

⑤ 碎石細砂コンクリートにおいては、強度試験結果、およびワーカビリティを考慮に入れて、最も適当な S/A の範囲は 30~36

％程度と考える。

⑥ S/A の範囲, 30%, 33%, 36% においては, セメント水比と 4 週圧縮強度は直線関係を示し, $\sigma_{c28} = -189 + 293 c/w$ なる式を得た。

⑦ 碎石細砂コンクリートにおいて, 4 週引張強度は 4 週圧縮強度を基準として考えると, $\sigma_{T28} = 1.40 \sigma_{c28}^{0.52}$ なる式を得た。

⑧ 静弾性係数は, 4 週圧縮強度を基準として考えると, $E_s = -1.26 \sigma_c^2 + 1086 \sigma_c + 50470$ なる式を得た。

碎石細砂コンクリートの耐久性, および乾燥収縮に関しては, 現在実験中であるが, 本論において述べた結果のみをみても, 最も初期の問題である使用が可能であるかどうかという点に関しては, 十分使用可能であると確信する。最後に本研究の実験を行なうに際し, 藤田組林正平, 前田建設吉田洋次郎, 飛鳥建設の田中正彦, 堺市

役所北川信也, 大阪市役所長田昇の諸氏の協力を得たことを付記し感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 柳場重正・大深伸尚・高桑重三・山田祐定：海岸砂丘砂のコンクリート用細骨材としての利用に関する基礎的研究, 金沢大学工学部紀要, 第5巻3号。
- 2) 柳場重正・高桑重三・山田祐定：コンクリート用細骨材として細粒海岸砂の使用に関する研究, 金沢大学工学部紀要, 第4巻2号, 4号。
- 3) 赤沢常雄：コンクリートの圧縮による内部応力を求める新試験法(圧裂強度試験法に就て), 土木学会論, 299-11(昭18.11) p. 777.
- 4) Narayanan, R.: The Tensile Strength of Concrete by the Split Test. Indian Concrete J. 35-8 (Aug. 1961) p. 307.

(1969. 11. 22・受付)

【付 録】 付表は本実験におけるコンクリートの配合をすべて網羅したものである。

付 表

単位セメント量 C kg/m ³	相骨材の粗粒率 F.M.	粗骨材最大寸法 mm	スランプ cm	絶対細骨材率 S/A %	単位水量 W kg/m ³	水セメント比 w/c%	単位セメント量 C kg/m ³	細骨材の粗粒率 F.M.	粗骨材最大寸法 mm	スランプ cm	絶対細骨材率 S/A %	単位水量 W kg/m ³	水セメント比 w/c%	
250	1.49	20	2.5	30	174.5	69.8	250	1.74	20	2.5	30	170	68.0	
				33	180	72.0					33	176	70.4	
				36	184.5	73.8					36	182	72.8	
			7.5	30	190	76.0					7.5	30	185	74.0
				33	196	78.4					33	191	76.4	
				36	202	80.8					36	197	78.8	
250	1.49	25	2.5	30	167	66.8	250	1.74	25	2.5	30	162	64.8	
				33	174.5	69.8					33	168	67.2	
				36	183	73.2					36	175.5	70.2	
			7.5	30	183	73.2					7.5	30	179.5	71.8
				33	191	76.4					33	186	74.4	
				36	198	79.2					36	193.5	77.8	
250	1.49	40	2.5	30	163	65.2	300	1.49	20	2.5	27	173	57.7	
				33	171	68.4					30	177	59.0	
				36	177	70.4					33	181	60.3	
			7.5	30	175	70.0					7.5	36	187	62.3
				33	183	73.2					39	194	64.7	
				36	192	76.8					42	204	68.0	
250	1.66	20	2.5	30	176	70.4	300	1.49	20	7.5	24	183	61.0	
				33	181	72.4					27	185	61.7	
				36	187	74.8					30	189	63.0	
			7.5	30	190	76.0					7.5	33	195	64.9
				33	196	78.4					36	203	67.7	
				36	201	80.4					39	212	70.7	
250	1.66	25	2.5	30	167	66.8	300	1.49	20	12.5	24	193	64.3	
				33	172	68.8					27	195	65.0	
				36	179	71.6					30	199	66.3	
			7.5	30	180	72.0					7.5	33	204	68.0
				33	187	74.8					36	210	70.0	
				36	194	77.6					39	217	72.3	
250	1.66	40	2.5	30	158	63.2	300	1.49	25	2.5	27	164	54.7	
				33	164	65.6					30	168	56.0	
				36	170	68.0					33	172	57.3	
			7.5	30	170	68.0					7.5	36	179	59.7
				33	177	70.8					39	186	62.0	
				36	186	74.4					42	195	65.0	

単位セメント量 C kg/m ³	細骨材の粗粒率 F.M.	粗骨材最大寸法 mm	スランプ cm	絶対細骨材率 S/A %	単位水量 W kg/m ³	水セメント比 w/c %	単位セメント量 C kg/m ³	細骨材の粗粒率 F.M.	粗骨材最大寸法 mm	スランプ cm	絶対細骨材率 S/A %	単位水量 W kg/cm ²	水セメント比 w/c %	
300	1.49	25	7.5	24	170	56.7	300	1.74	20	2.5	33	174	58.0	
				27	175	58.3					36	179	59.7	
				30	180	60.0					7.5	30	181	60.3
				33	187	62.3					33	188	62.7	
				36	195	65.0					12.5	30	188	62.7
				39	205	68.3					33	193	64.3	
300	1.49	25	12.5	24	183	61.0	300	1.74	25	2.5	33	163	54.3	
				27	186	62.0					36	169	56.3	
				30	191	63.7					7.5	30	173	57.7
				33	195	65.0					33	180	60.0	
				36	201	67.0					12.5	30	184	61.3
				39	212	70.3					33	190	63.3	
300	1.49	40	2.5	27	160	53.3	300	1.74	40	2.5	33	156	52.0	
				30	164	54.7					36	161	53.7	
				33	168	56.0					7.5	30	165	55.0
				36	173	57.7					33	173	57.7	
				39	180	60.0					12.5	30	176	58.7
				42	189	63.0					33	182	60.7	
300	1.49	40	7.5	24	165	55.0	350	1.49	20	2.5	30	172	49.1	
				27	167	55.7					33	178	50.9	
				30	174	58.0					36	181	51.7	
				33	181	60.3					7.5	30	187	53.4
				36	189	63.0					33	193	55.1	
				39	198	66.0					36	198	56.6	
300	1.49	40	12.5	24	175	58.3	350	1.49	25	2.5	30	166	47.4	
				27	178	59.3					33	173	49.4	
				30	183	61.0					7.5	36	177	50.6
				33	189	63.0					30	179	51.1	
				36	197	65.7					33	185	52.9	
				36	205	68.3					36	190	54.3	
300	1.66	20	2.5	33	180	60.6	350	1.49	40	2.5	30	161	46.0	
				36	185	61.7					33	169	48.3	
				30	188	62.7					36	174	49.7	
			7.5	33	194	64.7				7.5	30	169	48.3	
				30	197	65.7					33	177	50.6	
				33	202	67.3					36	182	52.0	
300	1.66	25	2.5	33	167	55.7	350	1.66	25	2.5	30	159	45.4	
				36	173	57.7					33	165	47.1	
				30	176	58.7					36	170	48.6	
			7.5	33	183	61.0				7.5	30	173.5	49.6	
				30	186	62.0					33	180.5	51.6	
				33	192	64.0					36	185.5	53.0	
300	1.66	40	2.5	33	161	53.7	350	1.74	25	2.5	30	154.5	44.1	
				36	167	55.7					33	161	46.0	
				30	169	56.3					36	165.5	47.3	
			7.5	33	176	58.7				7.5	30	170	48.6	
				30	179	59.7					33	178	50.4	
				33	185	61.7					36	184	52.6	