

コンクリート配合設計の一考察について

石 山 勲*
石 井 石 雄**

1. まえがき

従来のコンクリート重量配合設計法では、まず既知の資料から概略の目標である準備配合を計算し、試験練りによって、(1) ウォーカビリチー、フィニッシャビリチーの許される範囲で最小の細骨材率を求め、(2) 所要強度に対する水セメント比を定めて示方配合を決定する。しかし、小規模工事では試験練りを行なう余裕もないうえ、骨材品質変動にたえず悩まされるのが普通で、なかなか重量配合設計によりにくい。

ここでは試験練りの第2の効果を、適当な割増し強度を目標に水セメント比を決定することによって代え、第1の効果は現場練りのうちに折り込み、試験練りを省略することを考える。

さらに小規模工事における細骨材率調整の意義を検討して、配合設計をいちじるしく簡略化し、重量配合設計法の普及版たることをねらった。

2. 計量誤差

土木学会標準示方書によると、コンクリート材料の計量誤差は次の範囲内にあることを定めている。

セメント	±3%
骨 材	±3%
水	±1%
A E 材	±1%

これはほぼ 10% の強度変動を見込んだ計量精度を示すものであるが、実際にはこの誤差内に収めることはなかなか困難で、普通はパッチャー プラントなどによっても

	計量誤差	強度変動
セメント	±6%	±12%
砂	±4%	±4%
砂 利	±1.6%	0%

程度の誤差は避けられない(近藤泰夫・坂 静雄編:コンクリートハンドブック, 623 ページ)。

しかし、セメントを除いてこの程度の計量誤差はあまり影響ないから、要は強度を規定する水セメント比に関係する要素として、セメントおよび水(AE 剤などをふくめて)の計量を正確に行なえばよいわけである。このためセメントを袋単位で使用することにすれば、乱袋を除いて 0.4% 程度の誤差、それも常にプラス側、すなわち水セメント比の小き目に生ずる安全側誤差にとどまる。

したがって配合の調整は骨材の増減を主に行なうことが便利である。

3. 骨材を主にした配合調整

いま砂、砂利の表面乾燥飽和状態における比重を等しく ρ とすれば、コンクリート 1m^3 について構成各要素は次の関係にある。ただし $k_s \cdot S$, $k_g \cdot G$ はそれぞれ砂、砂利の表面水を表わす(負の表面水も考えにふくまれる)。

	重量	比重	容積
セメント	C	ρ_c	C/ρ_c
水(AE 材などをふくむ)	W	1	W
空 気			A
砂	$S+k_s \cdot S$	ρ	$S/\rho+k_s \cdot S$
砂 利	$G+k_g \cdot G$	ρ	$G/\rho+k_g \cdot G$

したがって

ペ ー ス ト $C+W+k_s \cdot S+k_g \cdot G$
 $x=C/\rho+W+A+k_s \cdot S+k_g \cdot G$

骨 材 $S+G$ $1-x=\frac{S+G}{\rho}$

絶対細骨材率を y とすれば

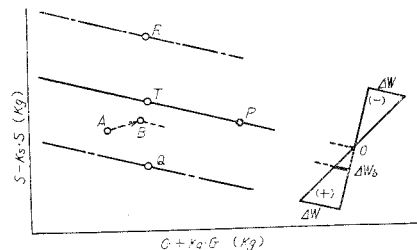
$$y = \frac{S}{S+G}$$

またペースト量 x は

$$x = 1 - \frac{S+G}{\rho}$$

として与えられる。この式を借りていえば、従来の試験練りによる配合調整は「 x を最小とするため y を小さくして行く。その結果 $S+G$ が最大となる。この間全量が 1m^3 となるよう構成各要素の量を変化させる」ことである。水セメント比を一定にしながら配合を調整するのに特に全量が 1m^3 である必要はないから、 1m^3 のわくを取ってみれば、 C, W の変化の介入なしに x の値を最小に決めることができる。それにはスランプ、空気が所定の値となり、ウォーカビリチー、フィニッシャビリチーの許される範囲で C, W の値を一定に保ちながら S と G との量をいろいろ変えて $S+G$ が最大となる点を見出せばよい。この間、骨材の表面水の補正は

図-1



* 正員 伊豆急行KK建設部建設課長

** 正員 同 伊東工事事務所

—1 のごとき計算図表をあらかじめ作製して使用する。

まず現場配合の骨材量を 図-1 T の点にとる。別に点 P を考え、骨材にふくまれる表面水が T 点と同量であるようにする。表面水をふくんだ骨材の計量値は'をつして表わして

$$\begin{array}{l} \text{T 点} \left\{ \begin{array}{l} \text{砂} \quad S_T' = S_T + k_s \cdot S_T \\ \text{砂利} \quad G_T' = G_T + k_g \cdot G_T \end{array} \right. \\ \text{P 点} \left\{ \begin{array}{l} \text{砂} \quad S_P' = S_P + k_s \cdot S_P \\ \text{砂利} \quad G_P' = G_P + k_g \cdot G_P \end{array} \right. \end{array}$$

とすれば

$$k_s \cdot S_T + k_g \cdot G_T = k_s \cdot S_P + k_g \cdot G_P$$

であるから、P 点の砂利量 G_P' を任意に決めれば砂量は一義的に求められる。

$$S_P' = S_P(1+k_s) = \frac{k_s \cdot S_T + k_g \cdot G_T - k_g \cdot G_P}{k_s} (1+k_s)$$

右辺は既知量 G_P' から G_P が求まるほか、すべて与えられた値のみから成る。

かくて T 点と P 点を結ぶと、この線は表面水量一定の骨材量組合せを示すものである。

次に T 点の砂利量を変えず、表面水量が ΔW だけ少なくなる点を Q とすれば、その時の砂量は

$$\begin{aligned} S_Q' &= S_Q + k_s \cdot S_Q \\ k_s \cdot S_Q &= k_s \cdot S_T - \Delta W \\ \therefore S_Q' &= \frac{k_s \cdot S_T - \Delta W}{k_s} (1+k_s) \end{aligned}$$

として求まる。反対に ΔW だけ T 点より表面水量の多くなる点 R を同様に求めれば、直線 PT に対する平行線 R, Q はそれぞれ表面水量が ΔW だけ多くなる。あるいは少なくなる骨材量の組合せを示すものである。

予備計算が終わったならばこの計算図表を使用して実際に現場配合を練ってみるのであるが、これをいきなり T 点から始めないで十分スランプが大きくなると思われる点、すなわち骨材量をそれぞれ 10% くらいずつ減じた点 A より始めるのである。もちろんセメント、水、A E 剤などの量は現場配合のままとする。

たいていは見た目にもスランプが大きくなるのであろうから、コンクリートが荒々しくならない範囲で砂利を加えて行き、もしスランプが適当に見える前にコンクリートが荒々しくなれば砂を加えて行く。

こうして第 1 回のバッチ (初めにモルタルをミキサ内面に付着させる必要がある) で所定のスランプなど条件に合う骨材量を見出してそれを B 点とする。空気量がこの時所定量あれば、目分量で ΔW_b なる水量を図表より読みとり、補正して B 配合を最終的に採ればよい。普通は ΔW_b はスランプおよび空気量をそれほど変化させない。

空気量が不足するようならば、いまだミキサ中にある B 配合に A E 剤を添加して練り返し、スランプが所定値に達するまで砂、砂利を前の要領で加えて行く。

しかし空気が多過ぎた時は、B 配合を捨てて A E 剤

を減じて再び A 点より出発しなければならない。

4. セメント分散剤の利用

これまで述べた操作は従来の試験練りに比較すれば簡単であるが、実験室でなく現場で打設前に行なうことは容易ではない。打設前は打設箇所の清浄など検査に追われるうえに、打設開始を急がれるものである。もし空気量が常に多い目にならなければ、その操作は水セメント比が常に小さ目になることと合わせて常に安全に行なわれるから、バッチに並行してスランプ、空気量の調整ができることになる。

空気量がある一定量にとどまる混和剤としては、A E 剤よりもセメント分散剤を利用するのが適当であろう。分散剤の特性はセメントの固まりをほぐして水和作用を促進する効果と合わせて、ある程度の連行空気をふくむことである。分散剤はセメントに対し一定割合量用い、それによる空気量はほぼ 3% 程度に一定するもので、不足空気量を補助的に A E 剤を添加して補うその操作は非常に気楽なものである。

経済的にも分散効果によって、セメントが 10% 程度節約できるので、分散剤のコストを補ってあまりある

表-1 水セメント比と σ_{28} との関係

水セメント比 (%)	28 日推定圧縮強度 (kg/cm ²)	
	普通コンクリート	ブラストクリート コンクリート
45	340	350
50	300	320
55	270	270
60	230	220
65	200	180

(日本シカ KK による)

表-2 細骨材率および使用水量の大体の値

粗骨材の最大寸法 (mm)	普通コンクリート		ブラストクリート		コンクリート	
	細骨材率 S/A (%)	使用水量 (kg/m ³)	適当と思われる空気量 (%)	細骨材率 S/A (%)	使用水量 (kg/m ³)	
15	49	190	6 ± 1	46	155	
20	46	180	5.4 ± 1	43	148	
25	41	177	4.9 ± 1	38	144	
40	37	165	4.2 ± 1	35	135	
50	34	156	4 ± 1	32	128	
0	31	144	3.7 ± 1	28.5	120	

上表は普通の粒度の砂および砂利を用いた。水セメント比は約 55% スランプは約 7.5 cm の普通コンクリートおよびブラストクリートコンクリートに対するものであって、用いる砂の粗粒率は約 2.75 の場合である。また、表の値は砂および砂利の比重が相等しい場合のものである。

表記の条件と異なる場合の補正

	S/A の補正	水量の補正
砂の粗粒率 (F.M.) の 0.1 の増 (減) に対し	0.5 の増 (減)	補正しない
水セメント比の 0.05 の増 (減)	1 だけ増 (減)	補正しない
スランプの 2.5 cm の増 (減)	補正しない	3% の増 (減)
空気量 1% の増 (減)	0.5 ~ 1 の減 (増)	3% の増 (減)
砕石を用いるとき	3 ~ 5 の増	9 ~ 15 kg の増
砕石を用いるとき	2 ~ 3 の増	6 ~ 9 kg の増

ものである。

5. 余裕のある現場の場合

3. において述べた配合調整法を適当な割増し強度を目標に水セメント比を決定することと合わせて行なえば、準備配合を計算するだけでそれがただちに示方配合と考えてよいわけで、試験練りが省略できる。余裕のある現場では水セメント比と強度の関係を実験室で求め、骨材品質変動をとまなう以後の配合設計に 3. の配合調整法を利用すればよい。このときコンクリートの強度など品質は従来の重量配合設計法と同様の管理度が得られるはずである。

6. 簡略化された新配合設計法

前述の表面水補正量 W_b は実際にどの程度となるかを検討してみよう。いま仮りに最悪の場合として、雨後の骨材を使用し、A点でちょうどスランプ、空気量が所定値に達したとする。その現場配合の単位水量を 150 kg とするならば

砂	700 kg	$k_s=8\%$
砂 利	1 200 kg	$k_g=3\%$

として不足水量は

$$W_b = 0.1 \times 700 \times 0.08 + 0.1 \times 1200 \times 0.03 = 9.2 \text{ kg}$$

であり単位水量に対して 6%強となる。その結果、水セメント比が 6%強大きくなり、強度は 13% 程度大きくなるであろう。反対に過乗水量 W_b が同様に 6%強生じ、強度が低下することも考えられるが、普通は準備配合の計算に先立つ骨材などに、なにか大きな間違いでもない限りこのようなことはあり得ない。しかし安全を考えて所要強度に対して 30% 強度の割増しを行なって目標強度とする。もちろん強度と水セメント比の関係式はここで経験的に得られた一般値を利用するが、そのための割増しと、施工上の安全のための割増しも考えての値であることはいままでもない。

次に絶対細骨材率の調整を行なわないことの功罪を考えてみよう。絶対細骨材率の調整の目的は砂率の適正を計ってセメントを節約することである。しかし、重量配合にちゅうちょして容積配合などに逃避する最大の理由は、ほかならぬこの絶対細骨材率調整作業の繁雑さにあるのではないだろうか。これを省略したためにセメント節約が多少不満足でも、それによって重量配合に踏切る現場が多ければ十分経済的である。容積配合などが所定強度など品質をうるのに、いかに不経済な方法であるかを考えてみるまでもない。といっても、絶対細骨材率を固定する不経済は一連の打設の初めに限られるだけで、次回には準備配合を修正する自由がないわけではない。

絶対細骨材率を固定すれば 図-1 において、A点より始めて配合を調整する方向は T 点に向かうという単純な作業となり、表-3 のごとき骨材表を計算しておけば

労務者でも調整作業ができる。

表-3

砂 (kg)	276	260	250	240	230	220
砂 利 (kg)	518	489	470	451	433	414

現場配合

これまでの結果にもとづいて、実用的には次の方法で配合設計を行なえばよいと思う。

① $\sigma_{28} \sim w/c$ の関係は経験的に得られた一般値を利用し所要強度の 30% 増しを目標強度とする。

② 準備配合を計算してセメント袋単位に直し、それを示方配合とする。

③ 現場配合の計算のとき骨材表を計算する。

④ 打設時はスランプ、空気量を骨材表に沿って骨材を加減し、補助 AE 剤を添加しつつ調整する。この間打設バッチと併行して調整してよい。

AE コンクリートの場合は分散剤を使用するが、プレーン コンクリートでは、なおこれらの作業が楽になることはいままでもない。

7. 骨材計量装置の誤差と骨材粒度の変動について

再び計量装置の誤差について考えてみよう。骨材の計量器、特に棹式のもは静止時と計量の瞬間とでは非常に事情が違うものである。標準錘またはセメント袋などで目盛調整を行なって正確さを示す計量器も、いざ労務者によって骨材が計量される時は、数 100 kg を数秒の間に流し入れるので、注意しながらも棹機構の慣性によってよけいに計り込みやすい。筆者らの実測によると普通の操作では 20 kg 以上は計り込むようである。一方、衝撃によるものは棹機構の慣性に吸収されて目立った影響はない。この慣性による計り込み誤差は計量器に、またその操作に対しほぼ固有の値を持ち、普通の操作では除くことができない。超過分の骨材をシャベルで取り出すことは不可能である。

しかし、新配合設計法によって配合調整を行なうときは、骨材の計量誤差を固定するよう心がければ誤差を特に修正する必要がないことが推察されるであろう。また骨材粒度などの変動があっても、従来のように試験練りを行なわないので準備配合を計算しなおすだけで示方配合が得られるわけである。

なお、骨材の計り込み誤差を考慮して、骨材表はあらかじめ計量値の小さい側に移行させておくことが必要である。

こうして、新配合設計法は特に小規模工事にありがちな計量誤差と骨材粒度変動に対し、非常に適応性があることを知るであろう。

8. 実施例

新配合設計法により伊東・下田間鉄道建設工事鎌田高

架橋コンクリート（現在までに約 1600 m³ 打設済み）を
施工したのでそのデータを次に示して参考に供する。

(1) 機械設備と使用材料

- ①機械設備 ②21 切ミキサ付パッチャー プラント
 ③ダンプトラック
 ④コンクリート タワーおよびホッパー
 ⑤手押車
 ⑥連絡用電話（打設係～プラント係）
 ⑦テストピース養生槽（温度調整なし）
- ②材 料 ⑧イワキ普通ポルトランド セメント(50
kg 袋)
 ⑨小田原清勾川産砂、砂利
 ⑩セメント分散剤プラストクリート

(2) 配合条件

本工事現場は気候温暖地なので、空気量を低く抑さえ
て補助的な AE 剤の使用を省略した。

(3) 作業順序

表-4 のとおりである。

(4) 試験結果

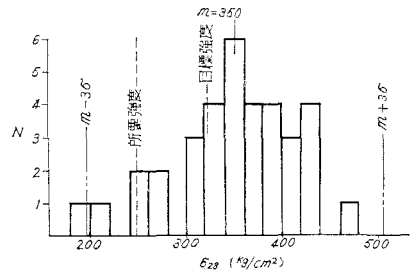
全体の打設量が少ないので資料を多くうするため、1日
に打設量の多いとき（最高 80 m³）はテストピースを3
回位作製する必要があり、人手不足から1回のテストピ

ースは1個に限った。σ₂₈の結果は 図-2 のとおりで変
動係数は 14.7%，空気量は 3~4% にとどまった。

表-4

時間	作業順序	摘 要
35. 4.15	1) セメント試験	セメント・メーカーより試験成績報告書を取り寄せる
35. 8.25	2) 骨 材 試 験	係員 2 名, 所要時分 3 時間
35. 8.26	3) 示方配合計算 (第 1 号様式)	係員 1 名, 所要時分 30 分
打設直前 または 前日	4) 骨材表面水測定 5) 現場配合計算 (第 2 号様式)	係員 1 名, 所要時分 30 分
打 設 時	6) 現場配合の調整 打設場 所にて テストピース作製	プラント係, 打設係各 1 名 テストピース作製は 1~2 名 が一時的に応援する
打 設 後	7) σ ₂₈ 試験	現場より 20 km の距離にあ る手動式 100 t 試験機を借用。 養生してテストピース運搬
28 日 目		

図-2



(第 1 号様式) 示方配合設計書(プラストクリート使用)

NO. 4
設計期日 昭和35年8月26日 設計者 印

条件

A 粗骨材最大寸法 (mm)	25	セメント (NO. 1)	比重 3.19
B 単位セメント量 (kg/m ³)	290	骨材 (NO. 1)	
C 空気量 (kg/m ³)	7.5	種類別 単位重量 最大寸法 粗 粒 率 比重 吸水率 乾燥収縮係数	
D スランブ (mm)	4.1	細骨材 1950	2.88 2.70 3.45 30 1
E 空気量 (%)	4.1	粗骨材 1823 25mm	7.12 2.66 0.38% NO. 1
F 圧縮強度 (kg/cm ²)	248		

(第 2 号様式) 現場配合計算書(プラストクリート使用)

NO. 4
設計期日 昭和35年12月26日 設計者 印

設計者 印 打設年月日時 昭和35年12月27日 (大) 曜日
自 4 時 45 分 至 21 時 30 分

1. 示方配合 NO. 4
2. 骨 材 NO. 1
3. 現場の骨材表面水試験

骨 材	A		B		C		D		E	
	質 量 (g)	容 積 (g)	容 積 (g)	容 積 (g)	容 積 (g)	容 積 (g)	容 積 (g)	容 積 (g)	容 積 (g)	
細骨材	611	575	6.26	2.46	3.80					
粗骨材	1400	1379	1.52	0.58	0.94					

4. 使用水量の補正
 細骨材表面水 = $\frac{402}{611} \times 0.01 \times \frac{6.26}{3.80} = 15.3$ (kg)
 粗骨材 = $\frac{639}{1400} \times 0.01 \times \frac{0.94}{6.0} = 6.0$ (kg)
 プラストクリート = $\frac{150}{3} \times 0.02 = 3$ (g)
 使用水量 = $74.5 - 15.3 - 6.0 - 3 = 50.2$ (g)
5. 骨材所要量の補正
 細骨材 = $\frac{402}{611} \times 15.3 = 417.3$ (kg)
 粗骨材 = $\frac{639}{1400} \times 6.0 = 645.0$ (kg)

6. 現場配合

セメント (kg)	150
水 (g)	50.2
プラストクリート (g)	3

7. 骨 材 表

骨 材	417	410	400	390	380	370
細骨材	417	410	400	390	380	370
粗骨材	645	634	619	603	588	572

現場配合

但し プラストクリートは200kgの原液を800gに水で希釈したものを使用。

- 設計者 印
- 粗骨材最大寸法、スランブ、空気量は条件として与えられているので除く。
 - ホセメント比、目標強度を所要圧縮強度(F)の30%用として[323] kg/cm²と考え第1表よりホセメント比を求めると[49.6] %である。又耐久性より求めると[53] %となる。両者のうち小さい方として[49.6] %を採用する。
 - 細骨材率及び使用水量、第2表を用いてS/Aと使用水量の補正を次のように行う。

第 8 表 に 示 し た 値	細 骨 材 率 S/A (%)	使 用 水 量 W (kg)
細骨材粗粒率の相違により	$0.5 \times \frac{2.68 - 2.75}{0.1} = 0.65$	144
ホセメント比の	$1.0 \times \frac{0.498 - 0.55}{0.05} = -1.08$	—
スランブの	—	0
空気量の	$-0.76 \times \frac{0.049 - 0.049}{0.01} = 0.68 - 144 \times 0.03 \times \frac{0.049 - 0.040}{0.01} = -3.9$	—
砕石の使用により	—	0
補 正 値	38.25	140.3

4. プラストクリートはセメント使用量の0.5%であるが、セメント使用量はホセメント比と使用水量から求めて282kg/m³(条件にかなう)となりプラストクリートはその0.5%の[1.41] kgとなる。
5. 示方配合の計算(骨材は表面乾燥飽和状態とする)

コンクリート 1 m³ 当り

	重 量 (kg)	容 積 (m ³)
セメント	282	0.0884
水	140	0.1400
空 気 量	4%	0.0400
		0.2684
全 骨 材		$1 - 0.2684 = 0.7316$
細 骨 材	$S/A = 0.3825$	$0.7316 \times 0.3825 = 0.2795$
粗 骨 材	$279.8 \times 2.70 = 755$	$0.7316 - 0.2798 = 0.4518$
プラストクリート (使用水量の1部と考える)	$451.8 \times 2.66 = 1202$	1.41
計	2379	1.0000

配合	スランブ (mm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	骨 材	水	セメント	細骨材	粗骨材	備考
現場配合	25	7.5	4 ± 1	38.25	282	140	755	1202	1.41	1 m ³ 当り
示方配合	*	*	*	49.6	150	74.5	402	639	0.7316	現場配合

9. あとがき

実施例としては何分にも新線建設で突貫工事のため十
分な例証をていするには至らない。少人数で管理でき

る方法であることは間違いないと考える。また骨材表にあ
わせて補正後の水量を計算しておけば、理論的には精度
が高まるが、小規模工事の骨材計量誤差を考えると、
いたずらに手数を増すだけの効果にすぎないかも知れな

い。いずれにせよ骨材の表面水測定に十分留意する必要があることを付言する。

最後にこの試みに協力願った伊豆急行伊東工事事務所員一同ならびに村上建設関係者諸氏に感謝の意を表したい。

参 考 文 献

1) 吉田徳次郎：コンクリート及鉄筋 コンクリート施工方法

(1958)

2) 国分正胤：コンクリートの配合の設計(コンクリートパンフレット), (1953)

3) 丸安隆和：現場コンクリートの試験方法と作業管理, (1959)

4) 近藤泰夫・坂 静雄：コンクリートハンドブック, (1960)

5) 近藤泰夫訳：コンクリートマニュアル, (1960)

(原稿受付：1961.5.17)

訂 正 表

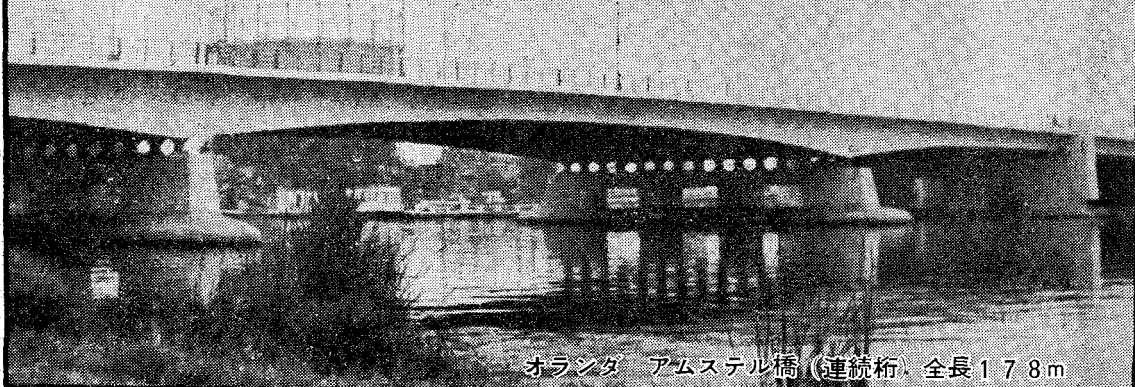
46 卷 8 号・会告 (1 ページ) 大学土木科卒業生採用申込及び就職状況 を次のとおり訂正致します。

行	大 学 名	誤						正					
		昭和 34 年度			昭和 35 年度			昭和 34 年度			昭和 35 年度		
		申込数	就職数	%	申込数	就職数	%	申込数	就職数	%	申込数	就職数	%
左・下 11	信 州 大 学	34	28	82	32	16	50	117	28	24	185	15	8
左・下 2	計	1444	327	22.6	2 004	317	15.8	1 527	327	21.3	2 157	316	14.6
右・下 19	大 阪 市 立 大	10	3	30	21	2	10	71	14	20	114	20	18
右・下 18	計	73	23	31.5	110	19	17.3	134	34	25.4	203	37	18.2
右・下 17	官 公 立 大 学 累 計	2 692	560	20.8	3 708	532	14.3	2 836	571	20.1	3 954	549	13.8
右・下 1	総 計	4 480	1 427	31.9	6 130	1 588	25.4	4 624	1 438	31.1	6 376	1 575	24.7

フレッシュナー プレストレスト コンクリート

FREYSSINET ALL OVER THE WORLD

計 画 ・ 調 査 ・ 設 計 ・ 管 理



オランダ アムステル橋 (連続桁) 全長 178m

FKK

極東地域協定実施会社 22社

実施成績 7000件

仏国STUP社
極東総代理店

極東鋼弦コンクリート振興株式会社

取締役社長 藤田亀太郎

本社 東京都中央区銀座西6の6 (合同ビル) 電話 (571) (直通) 4465・(代表) 8651-4