



新たに提案された ACI のコンクリート配合選定法

“Proposed Recommended Practice for Selecting Proportions for Concrete”
Reported by ACI Committee 613
Journal of ACI, Oct. 1953

米国コンクリート協会のコンクリート配合設計方法は、“ACI Standard, Recommended Practice for the Design of Concrete Mixes. ACI 613-44.”として Journal of ACI, 1945 年 6 月号に発表されていて、日本にも広く紹介されている。今回同じ Committee より表題の Recommended Practice が提案されたが、これはやがて現行の Standard (613-44) にとつてかわるべきものであろう。以下提案された配合選定方法を述べ、現行の Standard との相違点について記そう。

(1) スランプと骨材最大寸法 表-1 および表-2 (それぞれ ACI 613-44, Table 3 および 4 と同じ) により適当なスランプと粗骨材最大寸法とを定める。

表-1

構造物の種類	スランプ ¹ cm	
	最大	最小
鉄筋コンクリートのフーチング	12.5	5
無筋コンクリートのフーチング	10	2.5
鉄筋コンクリートのスタブはり壁	15	7.5
建築物の柱	15	7.5
道路の舗装	7.5	5
マンホール構造物	7.5	2.5

表-2

断面の最小寸法 Cm	粗骨材最大寸法 mm			
	鉄筋コンクリート型はり柱	無筋コンクリート壁	鉄筋の多いスラブ	無筋または鉄筋の少ないコンクリートスラブ
6.5 ~ 12.5	15 ~ 20	20	20 ~ 25	20 ~ 40
15 ~ 28	20 ~ 40	40	40	40 ~ 80
30 ~ 74	40 ~ 80	80	40 ~ 80	80
76 以上	40 ~ 80	150	40 ~ 80	80 ~ 150

表-3

スランプ ¹ cm	種々の粗骨材最大寸法に対する混ぜ水量の割合 ²							
	10 ^{cm}	15 ^{cm}	20 ^{cm}	25 ^{cm}	40 ^{cm}	50 ^{cm}	60 ^{cm}	150 ^{cm}
普通コンクリート								
2.5 ~ 5	208	178	163	178	163	153	143	124
7.5 ~ 10	229	218	203	193	178	168	158	138
15 ~ 17.5	242	228	212	203	188	178	168	148
コンクリート中のエントラップエアの概算の値%	3	2.5	2	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
AE コンクリート								
2.5 ~ 5	183	170	163	153	143	134	124	109
7.5 ~ 10	203	173	178	168	158	148	138	119
15 ~ 17.5	213	203	188	178	168	158	148	129
適当な空気量(エントラップエア)の概算の値%	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

(2) 所要の練り混ぜ水量 表-3 (613-44, Table 5 とちがう) により粗骨材最大寸法に応じ、普通コンクリートまたは AE コンクリートに対し、所要のスランプに必要な練り混ぜ水量を求める。表-3 に示す水量は概略の配合をきめるには十分役立つ。その値は粒度は示方書の標準に入っており、粒形もよいが角張っているといった骨材に対する水量の最大値を示したものである。それゆえ所要のスランプに対し表-3 の水量よりさらに多くの水量を必要とする骨材があつたとすると、その骨材は粒形がよくないか、粒度が並外れておるいかということになる。骨材によつては表の値より水量が少なくてスランプがでる場合もあるが、そんなときでもセメント使用量を減じない方がよい。1例をあげると、砂利と碎石とがあり、どちらも品質よく、粒度が同一であつた場合、セメント使用量が等しければ水セメント比は異なつても砂利コンクリートと碎石コンクリートとは強度がほぼ等しいのである。

(3) 水セメント比の選定 水セメント比は次に示すように耐久性と強度とから求め、どちらか小さい方の値をとる。表-4 (613-44, Table 4 と分類方法がちがう上に、耐久性に対する水セメント比は幾分小さくなつて) により耐久性に対する水セメント比を求める。所要強度に対する最大水セメント比または最小セメント使用量は実験室のテストで決定するのがよいが、試験できないときには表-5 (613-44, Table 5

表-4

構造物の種類	露出条件*					
	乾燥がはやく温度変化大凍結融解が繰り返される(特に AE コンクリートを用いること)			気候溫和、水蒸気下は下こもり水両量は普通より少ない。		
水に関係なし	水に接触するが水面上下(水が乾かす)	水に接触するが水面上下(水が乾かす)	水に関係なし	水に接触するが水面上下(水が乾かす)	水に接触するが水面上下(水が乾かす)	水に接触するが水面上下(水が乾かす)
等断面例として高欄、鉄石、小さい架用コンクリート、鉄筋コンクリートパイプ、パイプ等と鉄筋のクリア2.5cm以下のもの	0.49	0.44	0.40	0.53	0.49	0.40
普通の断面例として擁壁、橋、橋脚、けた、はり、	0.53	0.49	0.44	§	0.53	0.44
大きな(マツパ)断面の露出部分	0.58	0.49	0.44	§	0.53	0.44
トリーより施工し水中部分	-	0.44	0.44	-	0.44	0.44
直接地面上のコンクリートスラブ	0.53	-	-	§	-	-
直接外にさらす水を含むコンクリート例として建築物の内外部、地中のコンクリート	§	-	-	§	-	-
特殊用途その他で保護されるが、それまで数年間は凍結融解と受けるものをコンクリート	0.53	-	-	§	-	-

表-5

水セメント重量比	材容28日以内の圧縮強度の割合 ¹	
	普通コンクリート	AEコンクリート
0.36	440	350
0.44	355	290
0.53	290	235
0.62	235	190
0.71	180	145
0.80	145	115

には AE コンクリートに対する強度がない)が参考となる。この表では水セメント比が同一の場合、AE コンクリートの強度は普通コンクリートより 20% 低くなっているが、セメント使用量とコンシステンシーとを同一にすれば、AE コンクリートはエントレインドエアがはいることにより水量を減ずることができるから、上記の強度低下は一部あるいは全部解消する。

(4) 粗骨材使用量の算出 (この項が提案された方法の一番大きな改正点である) 適当なプレシアピリチーとウォーカピリチーに対して、コンクリート中の粗骨材の使用量を最大限にしえたときに、はじめて最少の練り混ぜ水量と、最大の強度とが得られるのである。この粗骨材の使用量は実験室の試験で決定し、現場でこれを修正すればよい。しかし実験データがない場合は表-6 から求めれば、普通の粒度の骨材に対してはよい結果を得られるはずである。表に示された値はコンクリートの単位容積中における粗骨材の容積 (dry-rodged bulk volumes すなわち乾燥状態のもの

表-6

粗骨材 最大寸法 mm	種々の粗粒率の砂を対してコンクリート中の粗骨材の容積 (乾燥状態の容積) m ³			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.46	0.44	0.42	0.40
15	0.56	0.53	0.51	0.49
20	0.65	0.63	0.61	0.59
25	0.70	0.68	0.66	0.64
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.79	0.77	0.75	0.73
80	0.84	0.82	0.80	0.78
150	0.90	0.88	0.86	0.84

を棒で突き固めた状態における容積で絶対容積ではない)である。類似の、寸法、粒形、粒度の骨材を、コンクリート 1m³ 中に dry-rodged volume で、示された容積を使用すれば大体同じウォーカピリチーのコンクリートがえられる。骨材の種類、とくに粒形がちがうと粗骨材の空隙が異なり、従つてコンクリート中のモルタルの所要量がちがってくるはずであるが、そのちがいにに対しては 1m³ 中に粗骨材を dry-rodged volume で一定容積用いるということが自動的にこの点を調整することになるのである。例えば、角ばつた粗骨材は空隙が大であるから、球状の粗骨材を用いる場合より多量のモルタルを必要とする。本法によれば、dry-rodged volume を用いるから骨材の空隙の影響は入ってくるが、粒度の点はオミットされている。示方書の標準粒度範囲にはいるような粗骨材であれば粒度の影響はほとんど問題にならず、コンクリート 1m³ に使用すべき粗骨材の適当な容積 (dry-rodged volume) では表-6 に示したように最大寸法と細骨材粗粒率とからきまると見てよいようである。

以上で、(1) 1m³ 中の水量がきまり、(2) 水セメント比がきまり、(3) 従つてセメント使用量がきまり、(4) 粗骨材の使用量がきまるから、(5) おのづから残る細骨材使用量がきまつて、配合は決定する。

(鉄道技術研究所 杉木六郎)

整全積算式による浮遊土砂採取器の効率

“The efficiency of Depth-Integrating Suspended-Sediment Sampling”

By Ning Chien

Proc. of A.G.U., Vol.5-Part 1, October 1952. p.693~698

整全積算式採取器は、一定の速度で器械を河底より水面まで移動させて、その間の浮遊土砂を採取するものであるが、取入口のノズルは器械の最下部より、ある距離 a だけ上方に取りつけられているため、全水深 d にわたつて採取することができない。

いま、粒径 D の土砂が単位時間に単位巾当り w_T の量だけ流下するとし、採取器によつて採取される量は単位時間に単位巾当り w_{sa} であるとする。と、 w_{sa}/w_T をもつて、粒径 D の土砂に対する、整全積算式採取器の効率 e とよぶ。

さて、粒径 D の土砂 (沈降速度は V_s) の、河床から y の高さにおける濃度 C_y は、任意の距離 a における濃度を C_a 、普通定数を k (約 0.4)、摩擦速度を u_* とし、

$$\frac{C_y}{C_a} = \left(\frac{d-y}{y} \cdot \frac{a}{d-a} \right)^z, \quad z = \frac{V_s}{ku_*} \dots\dots (1)$$

(1) 式で、 $y \rightarrow 0$ とすると $C_y \rightarrow \infty$ となつて不都合であるが、河床付近では浮遊理論は成立せず、このような河床層の厚さは粒径のほぼ 2 倍である。ここでは、土砂は、もはや浮遊土砂としてではなく、転動土砂として移動する。

確率から導かれた結論によると、転動土砂量 w_B と、上述の河床層の厚さ $2D$ とを用いて、この河床層の上側境界における土砂の濃度 C_{2D} は、

$$C_{2D} = \frac{Aw_B}{2Du_B} = \frac{Bw_B}{2Du_*} = \frac{w_B}{23.2Du_*} \dots\dots (2)$$

ここに、 u_B は転動土砂の平均速度で u_* に比例する。 A, B は定数で、このうち、 B は実験で 1/11.6 と定められる。

(1) 式において、 a を $2D$ 、したがつて C_a を C_{2D} として (2) 式を用いれば、高さ y の点での浮遊土砂輸送量は、その点での浮遊土砂の水平分速度を、その周囲の水の水平分速度 u_y に等しいと考え、 d を絶対粗度とすると、

$$C_y u_y = \left(\frac{w_B}{23.2Du_*} \left(\frac{d-y}{y} \cdot \frac{2D}{d-2D} \right)^z \right) \times \left(5.75 u_* \log_{10} \frac{30.2y}{d} \right) \dots\dots (3)$$

ゆえに、粒径 D の浮遊土砂量 w_s は、

$$w_s = \int_{2D}^d C_y u_y dy = w_B (PI_1 + I_2)$$

ここに、

$$P = \frac{1}{0.434} \log_{10} \frac{30.2d}{d}$$

$$I_1 = 0.216 \frac{A^{z-1}}{(1-A)^z} \int_A^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^z dy \dots\dots (3)$$

$$I_2 = 0.216 \frac{A^{z-1}}{(1-A)^z} \int_A^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^z \ln y \, dy$$

$$A = 2D/d$$

ゆえに、粒径 D の全土砂量 w_T は、

$$w_T = w_s + w_B = w_B(1 + PI_1 + I_2) \dots \dots \dots (5)$$

また、採取器によつて採取される粒径 D の浮遊土砂量 $w_{s\alpha}$ は、積分の下限を α とすることによつて、上と同じようにして求められる。すなわち、

$$w_{s\alpha} = \int_{\alpha}^1 C_y u_y dy = w_B \left(\frac{2D}{\alpha} \right)^{z-1} \left(\frac{d-\alpha}{d-2D} \right)^z \times (PI_{1\alpha} + I_{2\alpha})$$

$$I_{1\alpha} = 0.216 \frac{A_{\alpha}^{z-1}}{(1-A_{\alpha})^z} \int_{A_{\alpha}}^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^z dy \quad (6)$$

$$I_{2\alpha} = 0.216 \frac{A_{\alpha}^{z-1}}{(1-A_{\alpha})^z} \int_{A_{\alpha}}^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^z \ln y \, dy$$

$$A_{\alpha} = \alpha/d$$

したがつて、効率 e は、

$$e = \frac{w_{s\alpha}}{w_T} = \left(\frac{2D}{\alpha} \right)^{z-1} \left(\frac{d-\alpha}{d-2D} \right)^z \frac{PI_{1\alpha} + I_{2\alpha}}{1 + PI_1 + I_2} \dots \dots \dots (11)$$

(11) 式より効率 e は、 α 、 D 、 d 、 V_s 、 u_* 、 P の函数となる。 P の値は、河床の組成などによつて異なるが、普通の河川では 9~12 であり、実験によると、 P の値の相違は e の値に大して影響しないことがわかつた。そこで、 P は定数と考える。 α は、器械の構造のみならず、操作方法や河床の堅さなどによつても変化するが、ここでは 1 つの例として、3% をとることとする。

つぎに、 D は、これを V_s で表わし、 u_* と結合させて無次元量 V_s/u_* を用いると、けつきよく、 e は d と V_s/u_* (したがつて z) のみの函数となり、(11) 式を図化して、つぎの図-1 がえられる。

図-1 から結論される重要な 3 つの点は、(1) 水深 d の影響は浅い流れに対して大きい、(2) 効率 e は、 z の減少 (小さい粒径と大きな乱れ) にしたがつて急激に増大する。 $z < 0.1$ では、土砂は一樣な垂直分布に近づき、効率はその限界値 $(d-\alpha)/d$ に近づく。 $z > 2.0$ では、粒径はかなり大きくもつぱら転動土砂となる、(3) 図-1 を

用いると、採取された量から全土砂量が求められるが、 $z > 0.8$ では、効率は、 z のわづかな相違によつ

てかなり変化する。また、効率が小さいことは、土砂の運動が河床付近で多く起つていることを示し、採取される土砂量は、器械がどの深さまで達したかによつて非常に影響されるから、 α にはかなりの注意が肝要である。

さて、以上の推論には、2 つの仮定が含まれる。その 1 つは、浮遊土砂理論をもととしていることであり、他の 1 つは、 D と u_* とを適当に結合させて z で表わしていることである。

浮遊土砂理論に関しては、浮遊土砂輸送係数は必ずしも運動量輸送係数と同じではなく、また、水中に浮遊物が存在すると k の値はかなり小さくなる。かつまた、静水中における粒子の沈降速度は乱流中でのそれと大分異なる。このような相違のために、実験や実測の結果は、いずれも、浮遊土砂の分布の形は (1) 式ときわめてよく一致するが、理論から導かれた指数 z の値は、実験や実測から定められる指数 z_1 の値とは一致しない。もし、 z_1 と z との関係がわかれば、 z の代りにその函数である z_1 を用いることによつて、(11) 式は効率 e の概略値を計算するのに有用であるう。

つぎに、 D と u_* とを z で表わすことによる誤差について述べる。1/16 mm よりも小さい粒子の沈降速度は、ほぼ直径の 2 乗にしたがつて変化し、これよりも大きい粒子では、ほぼ直径の平方根にしたがつて変化するから、 u_* を同一とすれば、 z が大きくなればなるほど、それに対応する粒子の大ききのとるべき範囲は広がる。さて、粒子の大きさ D は (11) 式中で述べた 3 箇所に現われているが、それらの影響については、(1) I_1 、 I_2 を作図で求めてみると、 z が大きいかつ $A (=2D/d)$ が小さくなるほど、 I_1 、 I_2 が A の値の相違によつて変動する大ききは小さくなる。ゆえに、 z が小さかつ浅い流れに対してのみ、 D の相違は大きく影響する。しかし、上に述べたところから小さい z に対応する粒子の大ききはほぼ限定される。

(2) $\left(\frac{d-\alpha}{d-2D} \right)^z$ の項では、水深が大きいと D の相違は無視される。(3) $\left(\frac{2D}{\alpha} \right)^{z-1}$ の項では、 z が大きいと D の相違は大きく影響する。

以上の考察を総合すると、 D と u_* とを z で表わすことによつて生ずる誤差は、 z が大きいかつ浅い流れに対して大きいことがわかる。ところで、 z が大きいということは、粒子が粗くなつて転動土砂が多くなることを示し、また、浅い流れでは、 α が大きく影響することになるから、けつきよく、そのような誤差は全土砂量に対して小さくなるのみならず、 α の相違もまた大きく効率に影響することとなる。ゆえに、この場合にも、 D と u_* とを z で表わすことによつて生ずる誤差は、これを許容してもよいと考えられるであろう。

(中央大学工学部 春日屋伸昌)

