

# ダム コンクリートの品質管理について

永 田 年\*

## 1. 緒 言

### (1) 論文起草の主旨

ダムのコンクリートは現場製造ではあるが、その製造過程は、骨材の生産からコンクリートの練り混ぜ、打ち込み、養生に至るまで機械化されて、その品質は工場生産の建築材料と異なるところなく、近時いちじるしく向上しつつある。ただダム コンクリートは特定のダムに対し、最も経済的に製造されるものであるから、その品質はダムの型式に、あるいは現地産材料に支配されて、一律に規制しうるものではない。

コンクリートの特性である大なる圧縮強度をあますところなく利用しうるアーチダムは、構造的にみて理想に近いダム型式であって、そのスパンに比して厚さが非常に薄く、コンクリートには強大な圧縮強度が要求される。加えて、この圧縮強度はある程度以上あればよいというのではなく、高度の均一性が要求される。この結果は骨材の粒度の問題、その均一性へと発展し、これらの生産設備へおよんでくる。

反面重力ダムの断面積は非常に大きく、これに働く圧縮応力度はきわめて低いので、このコンクリートはアーチダムほど高度の均一性を必要としない。しかし圧縮強度のばらつきが大であれば、コンクリート製造の目標強度は大となり、単位セメント量の増加となって経済性は失われる。

このようにダム コンクリートの品質の均一性の程度はダムの型式、高さなど構造的に定まる反面施工設備、使用セメント量などの関連から経済的に支配される面もあって、事前にコンクリートの均一性（以下コンクリートの品質の均一性を主として表現する変動係数、標準偏差、不合格確率、割増し係数その他を一括して**管理係数**という）の程度を定め、示方配合、施工設備などこれに見合ったものでなければ経済的にコンクリートを製造することはむずかしい。従ってコンクリートの管理係数はその単価を左右するものであるから、その認定は目的のダムに適切であると同時に実行可能のものでなければならない。

著者の関係した、佐久間、田子倉、奥只見の3大ダムは、現在の代表的施工設備によってコンクリート工事が施工された。著者はこれらのダム コンクリートの品質管理資料を統計的に整理し、その実態にもとづいて、骨

材の生産、コンクリートの製造などに関する管理係数とその管理限界を論じ、ダム コンクリートの経済施工の参考としたい。

### (2) 論文の大意

本論文は、骨材の生産、コンクリート製造の実績にもとづき、近代コンクリート施工法による、これら材料の品質管理係数を求め、骨材については主として粒度、コンクリートについては強度関係の管理問題を論じたものである。

**a) 骨材** 施工実績によると、現在の骨材生産設備によって生産された骨材のうち、粗骨材は3つのダムにおいて共通の欠陥——粒径 40~20 mm のフルイ分け精度が特に低い——があって、粗骨材の粒度のばらつきを大にしている。この欠陥はフルイ分け設備の欠陥と判断されるので、著者はこれが改善を提案するものである。

細骨材についてはハイドロリックサイザーによる粒度調整を論じ、この方式の応用範囲を明確にした。

**b) コンクリート** 前記3つのダムにおける骨材の生産からコンクリートの練り混ぜ、打ち込み、養生に至る施工設備はわが国における最大のものであって、コンクリートの打ち込み量は1日 3 000 m<sup>3</sup> 以上、月に 10 万 m<sup>3</sup> を越える多量であった。ダム コンクリートの総量は佐久間 1 122 000 m<sup>3</sup>、田子倉 1 949 500 m<sup>3</sup>、奥只見 1 627 500 m<sup>3</sup>、計 4 699 000 m<sup>3</sup> におよぶ膨大なものである。この膨大なコンクリートの練り混ぜ時に採取した多数の試料による試験結果を統計的に整理して、その実態の把握につとめた。このようにして得たおもなる結果は次のとおりである。

①フライアッシュを使用したコンクリートにおける材令 91 日と 365 日との品質管理係数の関係は、これを使用しないコンクリートの材令 28 日と 91 日との品質管理係数の関係にはほぼ等しい。従って、材令 91 日の管理係数をフライアッシュを使用したコンクリートの管理基準とすることは品質管理不能に陥るおそれがあり、加えてコンクリートが最終圧縮強度に達しないために、セメント使用量の増加をきたすなど実体にそくないことを指摘した。

②圧縮強度の変動係数はかなり小さいものであることが明らかとなったので、3 000 を越える佐久間、奥只見の試料を個別に調査した結果土木学会ダムコンクリート標準示方書に規定されている限界圧縮強度に対する不合格確率は非常に小さく、奥只見の貧配合コンクリート

\* 土木学会第 49 代会長（工博 東京電力KK顧問）

(単位セメント+フライ アッシュ量 140 kg)においても 1/88, 富配合コンクリートに至っては 1/200 より小さいことが明らかとなった。この事実から, これらのダムよりさらに完備した施工設備で打ち込まれるアーチダムのコンクリートの不合格確率はさらに小であることが推定される。この事実はコンクリート製造の目標圧縮強度を定める割増し係数選択の範囲が拡大され, コンクリートの示方配合, 施工設備に関して考慮の余地を広くしたことになり, コンクリートの経済施工に資すること大なるものがあると考えられる。

③材令 28 日に対する材令 91 日 (フライ アッシュを使用したコンクリートでは材令 91 日に対する材令 365 日, 以下略す) のコンクリートの圧縮強度の増加率の変動係数は一般理論のとおりきわめて小であって, 常数ともみなしうる結果となったので, この点に着眼して, 材令 91 日の変動係数と材令 28 日の変動係数との関係を求めると, 前記増加率を常数とする直線式となった。この関係式によって, 材令 28 日の変動係数から材令 91 日の変動係数を推定し, もってコンクリート品質管理の万全を期待する資料としたい。

④これら各項の結論として, 重力ダム, アーチダムの管理係数のあり方を述べ本論文のむすびとした。

## 2. 骨 材

### (1) ま え が き

ダムのコンクリートに使用する骨材はその所要量がきわめて膨大であること, あらかじめ定められた粒度を中心にばらつきが少ないこと, 経済的に生産しうること, あるいは材質の問題など問題点が多いが, ここでは現在一般に使用されつつある生産設備による, 粗骨材のフルイ分け精度ならびにこれに起因する諸問題とハイドロリック サイザーによる細骨材の粒度調整および, ハイドロリック サイザーの応用限界について述べる。

#### A 粗 骨 材

### (2) ま え が き

一般に粗骨材はその最大寸法により, 粒径別に 3~4 種にフルイ分けて貯蔵し, これらを適当な割合に混合して, 所要粒度の粗骨材としている。従って粒径別に区別するフルイ分けの精度が低いと予想している粗骨材の粒度は得られない。

著者は佐久間, 田子倉, 奥只見ダムにおける膨大な粗骨材生産の実績にもとづき, まずフルイ分けの精度について述べ, フルイ分けの精度とコンクリート中の粗骨材の粒度との関係を調査し, 現行の方式——生産設備あるいは 3~4 種に区分された粗骨材の混合割合など——の改善に言及するつもりである。

### (3) 粗骨材フルイ分け精度の表わし方と可否の判断について

著者はフルイ分け精度を表わす尺度に規格粒百分率を

用いる。

**規格粒**とは粒径別に区分された粗骨材において, 粒の大きさを表示する寸法の範囲内にある粗骨材粒である。たとえば 80~40 mm の粗骨材の規格粒とは, 80 mm の標準フルイを通過し, 40 mm の標準フルイに留まるものである。

**規格粒百分率**とは, 粒径別に区分された粗骨材の中にくまれる規格粒の重量百分率である。

著者は粗骨材フルイ分けの精度を『粒径別に区分された粗骨材より採取した多数の試料のフルイ分け試験による規格粒百分率の平均値, その度数分布および変動係数』によって判断する。規格粒百分率の高いことはもちろんであるが, この百分率の度数分布は度数の集中点 が 90~100% 付近, すなわち分布範囲の一端近くにある非対称分布 (図-2.1 の D 種の分布) であり, さらに変動係数が小であれば, これら試料の平均値は区分された各種粗骨材, すなわち母集団の代表値とみなされる。しからざる場合, 図-2.1 の C 種のごとく, 度数の集中点 が 100% を遠くはなれて, 非対称分布をなさずあたかも正規分布に近い形をなしているときは, 必ず変動係数は大となり, 試料の平均値はその粗骨材を代表しない。いいかえれば, その粗骨材の規格粒百分率は常に変化していること, すなわちフルイ分け精度の低いことを示すものである。

### (4) 粗骨材フルイ分けの精度

#### a) フルイ分けに使用されるフルイの大きさとその目の

**開き** 佐久間, 田子倉, 奥只見における粗骨材のフルイ分けに使用したフルイの大きさとその目の開きは 表-2.1 の通りである。

表-2.1 フルイの目の開きとフルイの大きさ

工 場 名	フルイの目の公称寸法 (mm)	フルイの目の開き (mm)	フルイの大きさ (mm)
佐 久 間	80	76.2×76.2	1520×4260
	40	38.1×38.1	"
平沢骨材工場	20	19.1×19.1	1520×3660
	5	6.35×12.7	"
佐 久 間 レスクリーニング プラント	80	76.2×76.2	1520×4870
	40	38.1×38.1	"
	20	19.1×19.1	1220×4260
奥 只 見	5	5.1×12.7	"
	150	150×150	1830×4270
	80	80×80	"
	40	42×42	1830×4880
	20	22×22	"
	5	6.5×6.5	1830×4880

**b) 粒径別粗骨材の規格粒百分率, その度数分布と変動係数** 前記のフルイにてフルイ分けられた粒径別粗骨材のフルイ分け試験による規格粒百分率および規格外粒の百分率は 表-2.2 の通りである。

フルイの目の開き、粗骨材が川砂利、砕石などの相違はあるが、表-2.2 にみられる共通した傾向は A, B, D 種の規格粒百分率の平均値は目標の 100% に近い 90% 前後となっているが、C種の規格粒百分率の平均値は前者に比してはなはだしく低く、いずれの工場においても 80% 以下であることである。

さらに佐久間の平沢骨材工場およびレスクリーニングプラントにおける各種粗骨材の規格粒百分率の度数分布を図示すると図-2.1のごとくなり、A, B, D の3種の度数分布は(3)の説明による非対称分布をなしているが、C種の度数分布は度数の集中点が 80~70% 付近にあって予想される非対称分布をなしていない。

また多数の試料試験の結果から規格粒百分率の標準偏差および変動係数を求めると表-2.3のとおりとなつて、A, B, D 種においては変動係数 4.5~6.5% であるが、C種のみは 11.6~11.4% となっている。

以上の結果、A, B, D 種の試料平均値(表-2.2)はこれを探取した母集団すなわち3種の粒別粗骨材の代表値とみなされる((3)参照)が、C種の試料平均値はC種粗骨材を代表するものではない((3)参照)、ということは常にC種の内容が変わっていること、すなわち、その規格粒百分率のばらつきがは

表-2.2 粒別粗骨材の規格粒百分率および規格外粒の百分率の平均値

工場名	粗骨材種別	80 mm以上 (%)	80~40 mm (%)	40~20 mm (%)	20~5 mm (%)	5 mm以下 (%)	試料数
佐久間 平沢骨材工場	A (150-80)	93.2	6.6			0.2	97
	B (80-40)	1.3	92.7	5.5	0.1	0.4	〃
	C (40-20)		9.5	78.8	11.3	0.4	〃
	D (20-5)			2.7	96.0	1.3	〃
	計	94.5	108.8	87.0	107.4	2.3	
佐久間 レスクリーニング プラント	A	93.5	6.0			0.5	83
	B	2.0	91.0	5.8	0.5	0.7	〃
	C		14.6	72.3	11.6	1.5	〃
	D			8.2	89.4	2.4	〃
	計	95.5	111.6	86.3	101.5	5.1	
奥只見	A	76.4	21.2	2.4			9
	B	0.3	81.5	15.2	3.0		209
	C		3.5	74.9	21.2	0.4	〃
	D			10.9	88.2	1.4	〃
	計	76.7	106.2	102.9	112.4	1.8	
田子倉 700t プラント	A	93.0	7 (80 mm 以下)				431
	B	5.0	86.0	9 (40 mm 以下)			〃
	C	7 (40 mm 以上)		79.0	14 (20 mm 以下)		〃
	D	1 (20 mm 以上)			94.0	5	〃
田子倉 300t プラント	A	82.0	18 (80 mm 以下)				331
	B		94.0	6 (40 mm 以下)			〃
	C	11 (40 mm 以上)		80.0	9 (20 mm 以下)		〃
	D	3 (20 mm 以上)			90.0	7	〃

図-2.1 規格粒百分率の度数分布図

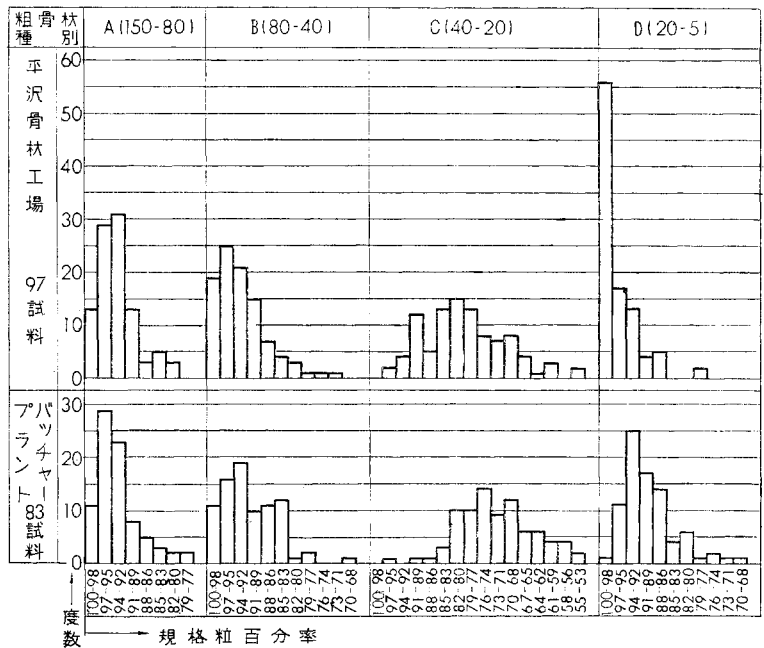


表-2.3 規格粒百分率の標準偏差と変動係数

粗骨材種別	平沢骨材工場			レスクリーニングプラント		
	平均値	標準偏差	変動係数	平均値	標準偏差	変動係数
A	93	4.37	4.7%	94	4.77	5.1%
B	93	5.55	6.0	91	5.80	6.4
C	79	9.15	11.6	72	8.21	11.4
D	96	4.32	4.5	89	5.76	6.5

げいことを示している。

c) 粗骨材フルイ分け設備の問題点 A, B, D の3種の粗骨材のフルイ分けについて問題はない。問題はC種のフルイ分けにある。結論からいえば、20mm目の目の開きと、40mm, 20mm目のフルイの大きさがたりないことに帰着する。

フルイの目の開きの絶対値の大きなものに問題はな

い。たとえば表-2.1に見られるように公称 80 mm のフルイの目の開きは 76.2 mm であるが、小粒は容易に通し、フルイの末端では大粒のみが残り、その数も少ないのでフルイ分けは十分に行なわれる。公称 5 mm のフルイになると処理する粒数が非常に多くなる（フルイ分ける骨材の量は重量で計るから単位時間に等量の骨材をフルイ分けるとすれば、粒の直径が1/2になれば、粒数は8倍になる）これに加えて粒間の空げきは全体として小粒ほど大になるので、目の開きの小さいフルイを通過する骨材は重なり合うというより、層をなして動いている。そこで公称 5 mm 目のフルイの目の開きは表-2.1にあるように、 $6.35 \times 12.7$  または  $6.5 \times 6.5$  とおそろしく大きな目の開きとなっている。

しかるに公称 20 mm 目のフルイの目の開きは佐久間のフルイで  $19.1 \times 19.1$  で公称寸法より小である。奥只見のフルイでは  $22 \times 22$  で多少大となっているがその効果は少ない。そこでこの目の開きをさらにもう少し大にするかどうかは次のフルイの大きさととの兼合になる。

公称 5 mm 目のフルイの目の開きが大きであるために、フルイ分けた砂の中に多量の 5 mm 以上の粒がある、しかし砂は粒度調整のために、さらに今一度フルイにかけられるから、その際これらは除去されるので問題は起こらないが、公称 20 mm 目のフルイの目の開きを大きくしすぎると、D種のフルイ分けの精度が低くなるからあまり大とはなしえない。佐久間のフルイ目は小にすぎることが、奥只見のフルイ程度が限度と思われる。このことは表-2.2においてD種の規格粒百分率は奥只見が最も低く、20 mm 以上の規格外の粒の百分率も最も大であることから推定できる。そこで、最も確実な方法としてはフルイの大きさ、すなわち、フルイ全体の面積を大にすることである。面積を大にして、粗骨材粒が層をなしてフルイ上を通過せず、せいぜい重なり合う程度で通ることになれば、フルイ分けは十分に行なわれる。公称 40 mm 目のフルイについてはフルイの面積を大にすればことたりる。しかし、これは佐久間のフルイのように目の開きが  $38.1 \times 38.1$  の場合であって、奥只見の公称 40 mm 目のフルイ目の開きが  $42 \times 42$  となっているときは逆の現象を起こしてフルイ分け精度は低くなる。

どちらかといえば精度を高めるためには佐久間の目の

開きで、フルイの面積を大にすることが望ましい。

d) フルイ分け設備の運転について 常時ほぼ一定量の粗骨材をフルイ分けるような運転をなすことは規格粒百分率のばらつきを小ならしむるに最も肝要なことである。佐久間の平沢骨材工場では、1日ほぼ 16~18 時間の運転を続けていたが、レスクリーニングプラントでは貯蔵量が少なかったので、コンクリートの打ち込み量に支配されて、単位時間のフルイ分け量に非常な差があった。その結果は表-2.2、図-2.1にみるようにフルイ分けの精度が低くなっている。もっともこのほかにも 20 mm 目のフルイの面積が 40 mm 目のフルイの面積より小であったことなどの原因もある。(表-2.1 参照)

(5) コンクリート中の粗骨材の粒度

ここでコンクリート中の粗骨材とは粒径別に区分された A,B,C,D 種を定められた標準に従って、計量混合されたもので、生コンクリートの中から取り出したものではない。この4種の粗骨材の規格粒百分率は表-2.2に示すとおり、90~70% 内外であって、残りは規格外の粒である。従って粗骨材の標準粒径別百分率によって計量混合したコンクリート中の粗骨材の粒度と、その標準との間には相当の開きを生ずる。

実例として、佐久間ダムのバッチャープラントの粗骨材貯蔵ビン内の4種の粗骨材のフルイ分け試験による 83 資料（このフルイ分け試験は昭和 30 年 2 月から翌年 5 月までに行なった全部であって、表-2.2 にレスクリーニングプラントのフルイ分け試験として記入したものである）と次の表-2.4に示す、佐久間ダムのコンクリートの粗骨材の標準粒径別百分率とから、コンクリート中の粗骨材の粒度を計算してみる。

表-2.4 佐久間ダムのコンクリートの粗骨材の標準粒径別百分率

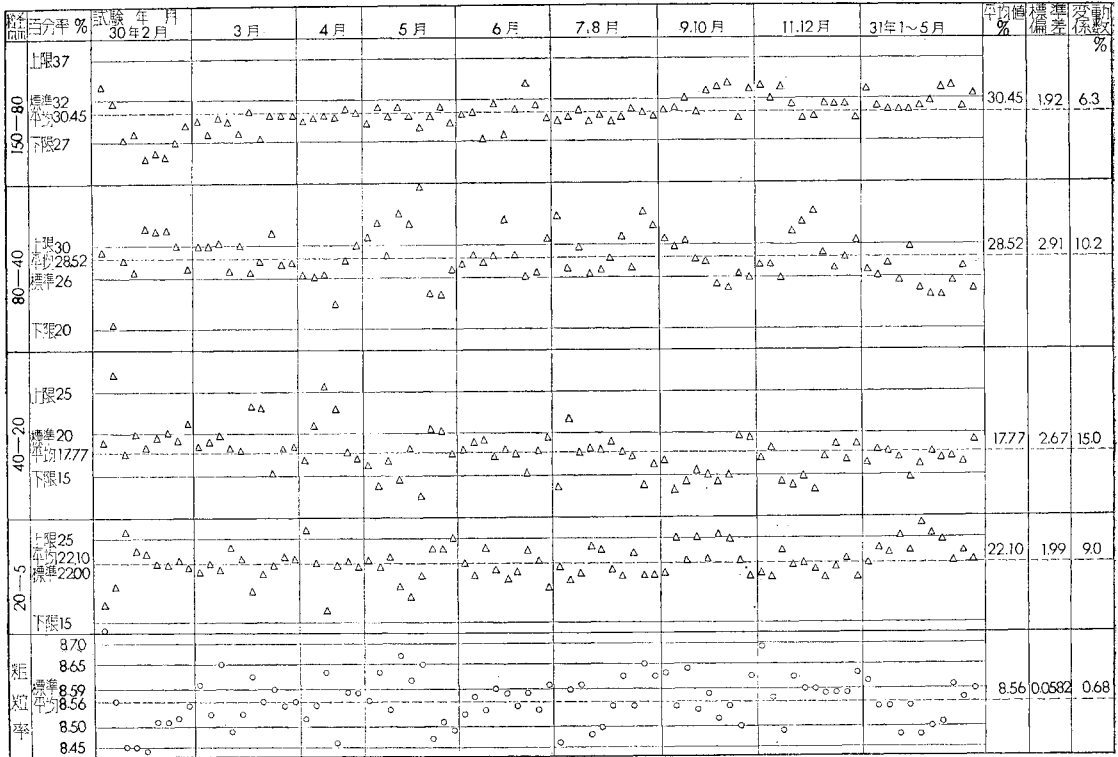
粗骨材種別	粗骨材の大きさ フルイの呼び寸法	標準粒径別 百分率 (%)	粒径別百分率の 許容範囲 (%)
A	150~80 mm	32	27~37
B	80~40	26	20~30
C	40~20	20	15~25
D	$\left\{ \begin{matrix} 20 \sim 10 \\ 10 \sim 5 \end{matrix} \right.$	$\left. \begin{matrix} 13 \\ 9 \end{matrix} \right\} 22$	15~25

表-2.2 に示されているフルイ分け試験の平均値と上表の標準粒径別百分率とからコンクリート中の粗骨材の

表-2.5 佐久間ダムのコンクリート中の粗骨材の粒径別百分率

粗骨材種別	標準粒径別百分率の 1/100	コンクリート中の粗骨材の粒径別百分率 (%)				
		80 mm 以上	80 ~ 40	40 ~ 20	20 ~ 5	5 mm 以下
A	0.32	$93.5 \times 0.32 = 29.92$	$6.0 \times 0.32 = 1.92$			$0.5 \times 0.32 = 0.16$
B	0.26	$2.0 \times 0.26 = 0.52$	$91.0 \times 0.26 = 23.66$	$5.8 \times 0.26 = 1.52$	$0.5 \times 0.26 = 0.13$	$0.7 \times 0.26 = 0.18$
C	0.20		$14.6 \times 0.20 = 2.92$	$72.3 \times 0.20 = 14.46$	$11.6 \times 0.20 = 2.32$	$1.5 \times 0.20 = 0.30$
D	0.22			$8.2 \times 0.22 = 1.80$	$89.4 \times 0.22 = 19.6$	$2.4 \times 0.22 = 0.53$
計	(コンクリート中の粗骨材の粒径別 %)	30.44	28.50	17.77	22.12	1.17
標準粒径別 %		32.0	26.0	20.0	22.0	0

図-2.2 佐久間ダムのコンクリート中の粗骨材の粒径別百分率のばらつき状況



(注) 1. 図中の百分率はコンクリート中の各粒径の百分率  
2. 同一縦線上のものが1つの試料の計算値

粒径別百分率を計算すると表-2.5となる。

この表によると標準と実態との間に相当の開きがあることは理解できるが、これは表-2.2の平均値にもとづいたものであるから、コンクリート中の粗骨材の粒度のばらつきの実態はつかめない。そこでコンクリート中の粗骨材の粒径別百分率のばらつき、およびこれが許容範囲内(表-2.4)にあるかどうかを確認するために、前記の83試料個別に表-2.5と同様の計算をなした結果は図-2.2のとおりとなった。

図-2.2 から次の事実を指摘することができる。

以下(80~40)……はコンクリート中の粗骨材のこの大きさの粒

(80~40)の百分率……(80~40)の粒がコンクリート中の粗骨材に含有される重量百分率

B種……粒径別に区分貯蔵されている粗骨材でその大きさは80~40mmのもの

このような表現で説明する。図-2.2の指摘する事実の説明として(80~40)を取り上げる。

① (80~40)はその母体であるB種の標準より百分率が大きくなり、図-2.2のいずれの試料においても、許容範囲を越えるか、これに近いところにある。

理由：C種の規格外の粒の百分率が比較的大であり、このうちの一部が(80~40)の百分率を大にしている。表-2.5の計算でこの傾向はよくわかる。その結果許容範囲の上限を越えるものが非常に多い。

② (80~40)の変動がばげしい。これの母体をなすB種は表-2.3に示すように、その変動係数は6.4%にすぎないが(80~40)の変動係数は10.2%(図-2.2の右端)となっている。

理由：(4)のb)で説明したようにC種のフルイ分けは不安定で、規格粒も、規格外の粒も、その百分率は常に変化しているので、この規格外の粒のばらつきが(80~40)のばらつきを助長している。

③ (80~40)はこれと全く同じ影響をA種からも受けるがA種の規格粒百分率の変動係数は5.1%(表-2.3)であるから、A種からの影響はすくない。(表-2.5参照)。

次に(40~20)はその母体であるC種の規格粒百分率の変動係数が大であるために、自己の変動係数も大である。加えて、B,D種の規格外の粒の変動の影響を受け、変動係数は15%となって、(図-2.2右端)許容範囲の下限を越えるものが多い。

また(150~80)はその母体A種の変動係数が5.1%でありこれに影響を与えるB種の規格外粒の百分率も小で

あるから、あまり大きな変化も起こさず母体A種に似た変動係数6.3%を保ち許容範囲の限界も越えていない。

(20~5)も(150~80)と同様の条件のもとにあるがこれに影響を与えるC種のばらつきがはげしいのでかなりの響影を受け、母体のD種の変動係数は6.5%(表-2.3)であるにかかわらず(20~5)のそれは9%となっており、許容範囲の上限を越えるものがかかなりある。

粗骨材を粒径別にフルイ分け貯蔵したときは、A,B,Dの3種の規格粒百分率は表-2.3にあるように変動係数の小なるものであったが、目的のコンクリート中の粗骨材となるとC種にかくらんされて、そのととのった姿を失い予想外の悪い結果となった。これらの事実より見て、C種のフルイ分け精度を高め、規格粒百分率を90%以上としない限り、図-2.2に示す欠陥を除くことはできない。

#### (6) コンクリート中の粗骨材の粗粒率

粗骨材の粗粒率は次の式によって計算される。

$FM_c =$  粗骨材の粗粒率

$mP_n = m$  mm 目のフルイを通過し、 $n$  mm 目のフルイに留まる粒の重量百分率

$$FM_c = \{5_{150}P_{80} + 4_{80}P_{40} + 3_{40}P_{20} + 2_{20}P_{10} + 1_0P_0 + 500\} \times 1/100$$

この式によって表-2.4の標準粒径別百分率より佐久間ダムのコンクリートの粗骨材の標準粗粒率  $[FM_c]$  を求めると、 $[FM_c] = 8.59$  となる。

また図-2.2を計算した、83資料から、個々の試料に対する  $FM_c$  を求めその平均値  $F_0M_c$  を求めると  $F_0M_c = 8.56$  となり、最大値は8.73、最小値は8.44である。この粗粒率の変動状況は図-2.2の最下段に示してあって、変動係数は0.68%となっており、一応細骨材なみに見えるが、粗粒率計算式中に標準偏差に無関係の5種の細骨材用フルイの残留分500%が平均値に含まれているために見かけの変動係数は小である。しかしこの500%を除いて、変動係数を求めると1.6%となっており、細骨材の場合に比して過大である。この事例は表-2.2にあるフルイ分け試験の結果、フルイ分け精度の低い例であるから一般的には、粗粒率の変動係数はこれより多少よくなると思われる。しかしC種のフルイ分け精度が現行の程度では、この変動係数がさらによくなることは期待できない。

またコンクリート中の粗骨材の粒径別のばらつきは粗粒率計算式で相殺されるので、変動係数小なるがゆえに粒径別のばらつき小なりと判断しかねる。

このような理由でコンクリート中の粗骨材の粒度は粗粒率によってその可否を判断しないことになっている。しかし粗骨材の粒度を総合的に表示するものは粗粒率であるから、粒度の可否の程度は粗粒率によって判断したいものである。図-2.2に示すように粗骨材の粒径別の

ばらつきは明らかとなっても、これを総合したときの可否の判断は図-2.2ではわからない。

粗骨材の粗粒率で粒度を判断するには、粗骨材のフルイ分けの精度が高くなって、粗粒率計算式中で相殺されるばらつきの程度が低いものでなければならぬ。変動係数からいえば前記のように500%を除いたときの変動係数が1%以下の場合であろう。

#### (7) コンクリート中の粗骨材の標準粒径別百分率の確保について

コンクリート中の粗骨材の粒径別百分率は、標準粒径別百分率に近いものであって、少なくともそのばらつきも許容範囲内におさまるものでないと、コンクリートの圧縮強度は事前の試験結果と異なり、ウォーカーピッチも悪くなるし、圧縮強度の変動も大となる。(3)ないし(6)に述べたように、現行の粗骨材フルイ分け設備によるときは、コンクリート中の粗骨材の粒径別百分率をその許容範囲内に確保することはむずかしい。

コンクリート中の粗骨材の粒径別百分率を、その標準粒径別百分率の許容範囲内におさめるためには

- ① C種のフルイ分け精度を高めること
- ② A,B,C,D種の計量比率を調整し、コンクリート中の粗骨材の粒径別百分率が標準に近くなるようにすること。

4種の粒径別に貯蔵された粗骨材のフルイ分け精度が90%以上で、規格粒百分率の度数分布が非対称分布をなせば、試料平均値で示される規格粒百分率は母集団、たとえばB種の代表値であると同時に、B種は常時この平均値を維持していると考えられるから、この平均値を基礎にしてB種の計量比率を定める。

また常時試料を採取してフルイ分け分析をなし、その結果により、計量比率を調節することも可能である。

粒径別に区分された粗骨材が常にほぼ一定の規格粒百分率を維持していれば、このようにしてコンクリート中の粗骨材の粒径別百分率は標準に近くなり、粗粒率によって、総合的に粗骨材の粒度の判断が可能となり、粗骨材は粒度に関する限り一段の進歩をするであろう。

### B 細骨材

#### (8) まえがき

著者は前述の3つのダムにおいて、細骨材生産の3つの代表的方式を採用した。

佐久間ダムの細骨材生産方式……骨材採取場の砂礫中に各種粒径の砂粒が豊富に含まれていたため、ハイドロリックサイザーを使用して、粒度調整をなした。

田子倉ダムの細骨材生産方式……骨材採取場の砂礫中の砂には微粒砂が不足していたため、ハイドロリックサイザーにて粒度調整をなし、この際生産される過剰の粗粒砂をミルにかけて、微粒砂を生産して、粒度の調整をなした。

奥只見ダムの細骨材生産方式……ここでは細粗骨材とも人工骨材である。現地の研究\*によって、ロッドミルの粒度調整機能を利用し、ロッドミルへの原料供給量の加減によって、粒度の調整に成功した。

著者は佐久間ダムにおいて天然細骨材の粒度調整にハイドロリックサイザーを使用した経験により、粒度調整の実績、この方式の適要の範囲などについて述べる。

**(9) 佐久間ダムにおける骨材の採取と生産方式の概要**

骨材採取場はダム下流、河川の長さにして約3kmの位置にある河川敷および民有地で、面積約20万m<sup>2</sup>の堆積砂礫層である。調査の結果、使用不能の礫(クラッシャーにかからない大玉石)19.3%,粗骨材として使用可能なもの47.2%,5mm以下の砂33.5%となつて、所要量の粗骨材を生産すると、必然的に細骨材の原料である洗滌された砂が所要量の約2倍生産されることになる。以下本文では細骨材の原料となる洗滌された砂を原砂という。

骨材採取場で掘削採取した砂礫はクラッシャーとフルイ分け設備を通して、4種の粗骨材と原砂とに区分して貯蔵した。

この原砂は天然のままの粒度であるから、これをサンドプラントに送り粒度の調整をなして仕上り砂として貯蔵した。この仕上り砂はベルトで約1.5km運搬されてレスクリーニングプラントの位置に貯蔵され、ここから小出しに、450mはなれたバッチャープラントに送られる。

**(10) 原砂の粒度と仕上り砂(細骨材)の標準粒度**

本文で粒度決定方式を論ずるつもりはないが、ハイドロリックサイザーによる仕上り砂の粒度調整のよし、あしは一つに原砂の粒度と仕上り砂の粒度に支配されるので、原砂の粗粒率と仕上り砂の標準粗粒率決定の経過を簡単に述べる。

**a) 原砂の粗粒率** 試験試料のフルイ分け試験の結果採取可能な原砂の粗粒率別の重量百分率は表-2.6のようになった。

この表に示すごとく、骨材採取場の砂の約63%は粗

表-2.6 骨材採取場における原砂の粗粒率別重量百分率

粗粒率	採取場全域について重量百分率	採取予定の原砂の重量百分率
1.0以下	6	0
1.01~2.00	6	0
2.01~2.40	20	0
2.41~2.60	15	22
2.61~2.80	36	53
2.81~3.00	12	18
3.01~3.30	3	4
3.31以上	2	3
計	100	100

\* 土木学会論文集第65号・別冊(3-2),ロッドミルによる製砂法の研究,三村・鈴木・上野・細谷共著

粒率2.41~3.00の範囲にある、さらに、微粒砂が多く粗粒率2.40以下の部分は、砂の含有率が平均値より大であるため、この箇所からは骨材を採取しない方針とした、従つて採取予定の原砂の粗粒率別重量百分率は計算上は上表右端のごとき比率となる。しかし試験試験の結果から推定する数量には相当の誤差があり、または掘削の順序の上から好まざるところを掘削することもありうるので、上表右端のごとき結果とはならないにしても、傾向としては、粗粒率2.41~3.00の原砂が大部分であり、なかでも、2.61~2.80の原砂が非常に多いことは確実である。

**b) 仕上り砂の粒度** 細骨材としての粗粒率2.41~3.00は、土木学会ダムコンクリート標準示方書第10条に規定される、細骨材の粒径別百分率の許容範囲内にある。

特に強度の高いコンクリートを製造する必要もないので、細骨材の標準粗粒率としては、最も多量に採取される原砂の粗粒率2.60~2.70の範囲で表-2.7のごとくこれを定めた。

表-2.7 仕上り砂の標準粒径別百分率

粒区分	標準粒径別百分率	残留率%	粒径別百分率の許容範囲	土木学会標準示方書の範囲
10~5	3	3	0~7	0~5
5~2.5	12	15	7~17	5~15
2.5~1.2	13	28	8~18	10~25
1.2~0.6	23	51	18~28	10~30
0.6~0.3	21	72	18~28	15~35
0.3~0.15	22	94	18~28	12~20
0.15以下	6	100	5~10	3~10
粗粒率		2.63		

**(11) ハイドロリックサイザーの原砂分級実績**

ハイドロリックサイザーは水の流速によって、一群の砂を粗粒率の大なるものから順次小なるものへ分級する装置であつて、フルイにてフルイ分けるように、砂粒の大きさ別に区分することはできない。

佐久間で使用したものはドルコサイザーE8型で、処理能力は毎時25tのもの2台である。このサイザーは個の連続したポケットがあつて、原砂はその一方から供給される。原砂の供給口に近いポケットから番号を順次1,2,3……8とする。各ポケットはその底部から水が供給され、ポケット内には水の上昇流が起つてゐる。この上昇流速はポケット1が最も速く順次ゆるやかになるように調節する。ポケット1に供給された原砂の内比較的大きな粒の砂はこのポケットに沈澱し、沈澱しない砂粒は1,2のポケットの隔壁を越流して2のポケットに至りここで沈澱しないものは3のポケットに越流して行く。このようにして番号順に粒の小さなものが沈澱する。しかし1つのポケットにはいろいろの大きさの粒が沈澱してゐて、表-2.8に示されるように全体として、各ポケットの沈澱砂の粗粒率の大きさはポケットの番号順にならんでゐる。

表-2.8 (a) はサイザーが正常に運転しているときの供給原砂と、ポケットに沈澱した砂とのフルイ分け分析の結果である。(b) 表をみるとポケット6, 7, 8において特に 0.15 mm 以下の微粒が (a) 表に比して少ない。これは供給原砂中に含まれる水量が多くて、ポケット内の上向き流速が速くなりすぎたためである。このようにサイザーは上向き流速に対して非常に敏感である。

このようにサイザーでは各ポケット内の上向き流速をわずかに変更することによって、各ポケット内の沈澱砂の粗粒率を容易に変更することができるので、上向き流速の調整がサイザーによる 粒度調整のキーポイントでもあり、むずかしいところでもある。

サイザーによる原砂分級の可否の判断……サイザーの各ポケットから取り出された砂を表-2.8 のごとくフルイに分け分析して、1つのポケットについて、フルイの目が連続している3つのフルイに残留するものの百分率の合計が 90% 以上あれば原砂の分級は良好と判断される。

(12) ハイドロリック サイザー による 粒度の調整

この調整は原砂中に含まれる過剰粒（原砂の中で含有量が多すぎるある大きさの粒）の一部を除去することによって達成される。あるいは特定の過少粒（含有量が少なすぎるもの）以外のすべての粒の全部または一部を除去して相対的に過少粒の増加を計ることもできる。除去するという事はサイザーのどのポケットかに沈澱したものを放棄することである。

原砂の粒度を調整するには、原砂の中から調整用として、その一部を取り出し、この調整用原砂をサイザーにかけて分級し、過剰粒の多いポケットの砂は放棄し、他のポケットの砂は、これをもとの原砂に加えて混合して、仕上り砂とする。粒度調整用として必要な原砂の量は過剰粒の量に比例して定まる。

図-2.3 は佐久間ダムのサンドプラントの主要な系統図である。

たとえば原砂の貯蔵所から毎時 200 t の割合でサンドプラントに送られて来た原砂はシュートで 80 t (40%) と 120 t (60%) に区分される。この 80 t の原砂が粒度調整用に使用される。この 80 t の原砂はダブルデッキスクリーンにて洗滌、フルイ分けされ、2.5mm 目のフルイを通過したものが（一般には 5 mm フルイおよび 2.5mm フルイに残ったものは全部放棄される）2台のサイザーに供給され、分級され、過剰粒は放棄されて残

表-2.8 サイザーの各ポケットに沈澱した砂のフルイ分け試験表

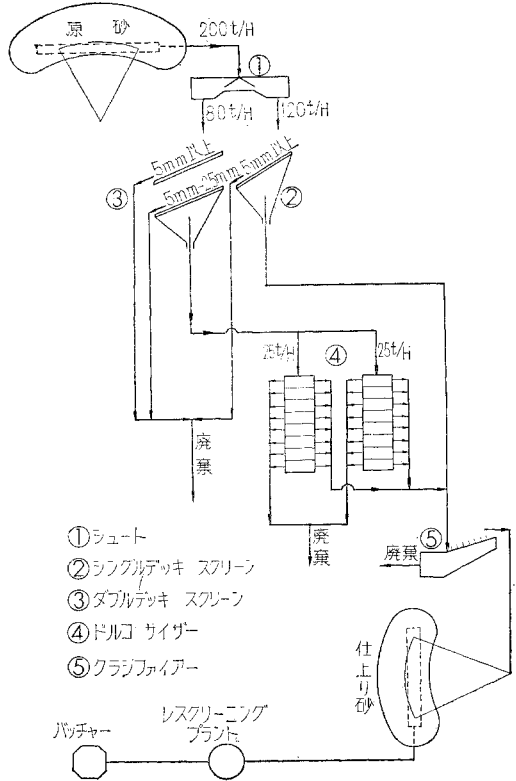
(a) 昭和 30 年 7 月 25 日 試料採取

原砂		各ポケットからの排出砂								
フルイの目 (mm)	各フルイに留まる重量 %	フルイの目 (mm)	各フルイに留まる重量 %							
			ポケット							
			1	2	3	4	5	6	7	8
5	4.4	5								
2.5	13.6	2.5	9.4							
1.2	15.4	1.2	27.0	2.2	0.4					
0.6	20.4	0.6	41.0	88.4	2.0	0.4	0.2			
0.3	20.6	0.3	20.4	9.0	76.4	47.2	13.2	3.0	1.0	0.4
0.15	17.6	0.15	2.0	0.2	20.8	46.2	65.0	76.4	69.6	55.4
0.15以下	8.0	0.15以下	0.2	0.2	0.4	6.2	21.6	20.6	29.4	44.2
粗粒率	2.76	粗粒率	3.21	2.92	1.81	1.42	0.92	0.82	0.72	0.56

(b) 昭和 31 年 2 月 22 日 試料採取

原砂		各ポケットからの排出砂								
フルイの目 (mm)	各フルイに留まる重量 %	フルイの目 (mm)	各フルイに留まる重量 %							
			ポケット							
			1	2	3	4	5	6	7	8
5	4.0	5								
2.5	8.2	2.5	11.4	1.4						
1.2	14.0	1.2	37.8	20.0	2.8					
0.6	22.2	0.6	37.4	48.2	53.2	17.6	1.0	0.4		
0.3	29.6	0.3	11.4	25.0	41.4	72.4	60.4	37.8	18.0	6.0
0.15	17.0	0.15	1.6	4.6	0.2	9.6	36.6	59.8	78.6	86.4
0.15以下	5.0	0.15以下	0.4	0.8	2.4	0.4	2.0	2.0	3.4	7.6
粗粒率	2.64	粗粒率	3.45	2.86	2.54	2.07	1.60	1.36	1.15	0.98

図-2.3 佐久間ダムのサンドプラントの系統図





りはクラシファイアーに送られる。一方 120 t の原砂は 5mm のシングルデッキスクリーンを通して、クラシファイアーに直送され、ここで両者が混合されて仕上り砂となる。

原砂の粗粒率のばらつきが少ない場合は、単にサイザーから放棄するもの（どのポケットのものを放棄するか）を、原砂の粗粒率によって変更すればたりのので、運転は簡単であり、調整効果も大である。佐久間の場合は表-2.6 に示すごとく、原砂の粗粒率はばらつきが少なく、仕上り砂の標準粗粒率に近かったのので、サイザーの運転は簡単であり、仕上り砂の粗粒率のばらつきは表-2.9 に示すように非常に少なかった。

原砂と仕上り砂の粗粒率が接近していない場合は調整用原砂の比率が 50% 以上にもなり、放棄数量も増大し、サイザーの処理量も増加するので、サイザーの処理能が大でないと調整不能に陥る。この粒度調整用原砂の比率が大になると、事実上調整は困難となる。

原砂の粗粒率のばらつきが多く、粒度調整用の原砂の比率を再三変更しなければならぬ事態ではサイザーでは粒度調整はできない。

(13) 粒度調整の実績

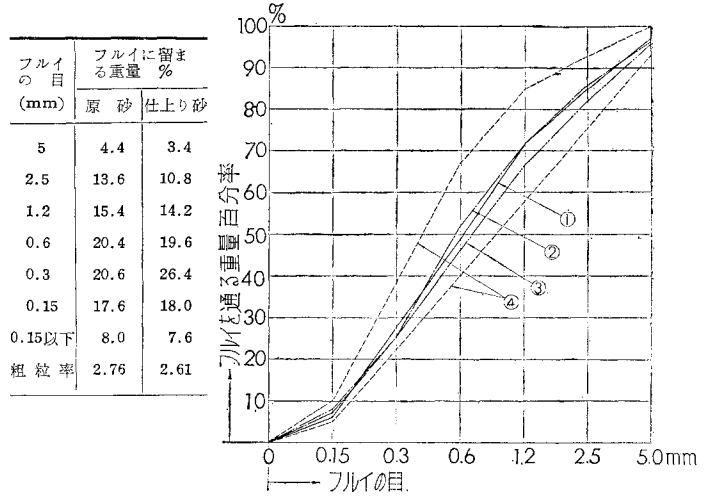
佐久間ダムの細骨材の標準粒径別百分率、粗粒率およびその許容範囲は表-2.7 に示したとおりであって、粗粒率の変動は 1 時間ごとに連続して採取した 10 個の試料のうち少なくとも 9 個は平均値との差が 0.2 以下と仕様書に規定された。これが細骨材生産の管理基準であった。

昭和 30 年 1 月 18 日にコンクリートを打ち込みはじめて以来、原砂の粗粒率のばらつきは少なく、特に 5 月から 12 月の間はそのばらつきが非常に少なかった。この間たとえば 7 月 25 日の原砂とこれを調整した仕上り砂とのフルイ分け分析の結果を示すと図-2.4 (a) のとおりで、この原砂はそのまま標準粒径別百分率の許容範囲内であって、仕上り砂の標準粒径別百分率にきわめて近いものである。

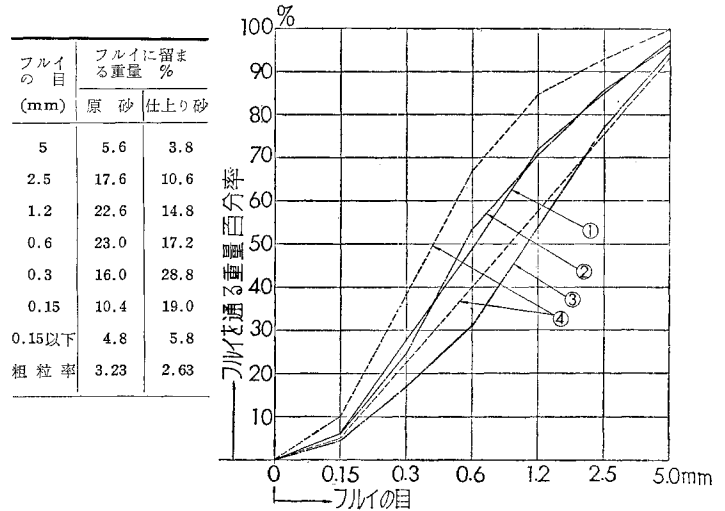
仕上り砂の毎日のフルイ分け分析による、粗粒率の平均値の管理図は図-2.5 のとおりであって、この図に原砂の粗粒率の平均値も記入してあるが、そのばらつきも非常に少ない。仕上り砂の粗粒率はその平均値からの差が 0.02 にすぎない。図-2.5 は昭和 30 年秋、原砂の

図-2.4 原砂および仕上り砂のフルイ分け分析の例

(a) 昭和 30 年 7 月 25 日採取試料

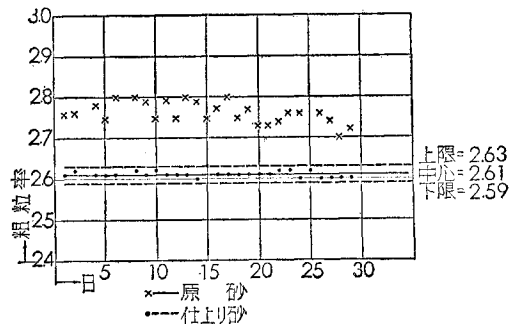


(b) 昭和 31 年 1 月 19 日採取試料



(注) : 1 : 仕上り砂の標準粒度      2 : 仕上り砂の粒度  
3 : 原砂の粒度                      4 : 仕上り砂の粒度の許容範囲

図-2.5 仕上り砂の粗粒率の管理図の一例



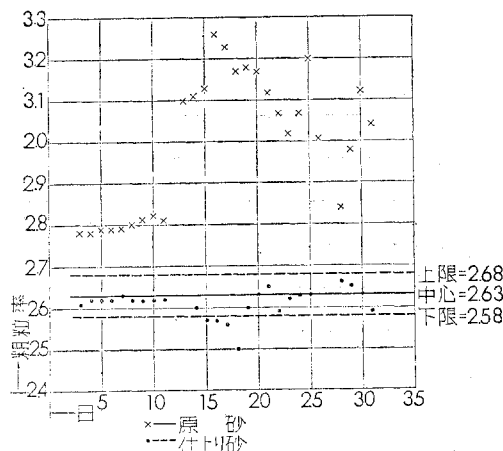
粗粒率が安定していた時期の管理図の例である。

昭和 31 年 1 月になると、C 種粗骨材の生産量が使用量以下となったので、C 種の含有量の多い河川の汀また

は水面下(事前調査によると、この付近の原砂の粗粒率は表-2.6に示す3.01~3.30の範囲のものが大部分であった)に骨材採取の主力を集中したために微粒砂が少ないばかりでなく、原砂の粗粒率のばらつきも図-2.6に示すようにはげしかった。よってサイザーの粒度調整用原砂の量を調整して、粒度調整に努力したが、その結果は非常に悪かった。図-2.4(b)は昭和31年1月19日の原砂および仕上り砂のフルイ分け分析結果であり、図-2.6はこの月の毎日の仕上り砂の粗粒率の管理図でいかに成績が悪いかは一目してわかる。また同じ日の原砂の粗粒率がこの図に記入してあるがそのばらつきのはげしさもよくわかる。

このようなばらつきの多い原砂の粒度はサイザーで調整することはむずかしい。

図-2.6 昭和31年1月の仕上り砂の粗粒率の管理図



#### (14) ハイドロリック サイザー応用の範囲

サイザーによる粒度調整には前述のごとく限界があって、いかなる原砂の粒度も調整できるものではない。サイザーによる粒度の調整は次の条件が満足されるときに、調整の効果は大きく、経済的で、設備の運用も簡単で、天然砂の粒度調整に最も効果的な方式である。

① 原砂の粗粒率のばらつきが少ないこと。このばらつきの程度は粒度調整用原砂の量と原砂の総量との比率を一定にして、サイザーより放棄する量を加減するのみで、粒度調整が可能な範囲である。

② 原砂の粗粒率は細骨材の標準粗粒率に近いこと。この近い程度は粒度調整用原砂の量が原砂総量の50%以下であろう。

③ 原砂の生産量が多く、サイザーにてどれほど放棄しても細骨材に不足を生ずるおそれがないこと。

これらの条件を満足するかどうかの判断をなすためには表-2.6の調査が必要であるし、原砂の採取可能総量の問題も起こってくる。

前記3条件を満足しなければサイザーは応用できないかといえ、そうではない。人工的に自然条件を補正す

る途もある。

①の条件を満足しない場合。ある期間(1カ月または2,3カ月など)を限って原砂の粗粒率のばらつきが小さくあれば、この期間が終わったときに粒度調整用原砂の量を調整することによって、サイザーの効果を手放さず利用できる。この現象は、骨材採取場の位置が変更されると起こる。同じ河川の堆積層でも大なる支流の上下流では原砂の粗粒率が異なる場合が多い。

原砂のばらつきが多い場合はサイザーのみでは粒度の調整はできない。この場合は人工的に原砂のばらつきを調整してからサイザーを利用する。たとえば荒目の砂(粗粒率の大なるもの)の多いところで骨材を採取しているときには同時に微粒砂が多く、粗粒率のばらつきも少ないところでも骨材を採取し、これらを1:1または2:1といったトラックの比率でグリズリーに投入して原砂の粗粒率とばらつきを修正することもできる。

②の条件が満足されない場合でも①の条件が満たされていればサイザーの処理能力を大にすればサイザーにて粒度調整可能である。特に荒目の砂を多量に放棄する場合には田子倉ダムで実施したごとくロッドミルを併用すれば放棄した砂を再使用することもできる。しかしこの際は③の条件が満たされていないと危険である。

③の条件が満足されないときはサイザーの利用はまずむずかしい。荒目の砂が多量のときはロッドミルを利用して不足分を補うことも可能であるが、事前調査の結果は信用度も低いので、この場合はサイザーの利用は不可能と考える方が安全である。

#### (15) 佐久間ダム細骨材の粗粒率の月別統計

佐久間ダムではコンクリートの打ち込み開始から完了まで20カ月の間に平沢骨材工場で7895回、バッチャープラントで5560回の仕上り砂のフルイ分け分析を行なった。この結果を月別に集計したものが表-2.9である。

表-2.9において、ある月の骨材工場の仕上り砂は、同じ月のバッチャープラントの仕上り砂ではない。しかし骨材工場の仕上り砂の貯蔵量は約9000tで昭和30年9月から翌年2月頃までは1日平均1500~2000tの仕上り砂を使用していて、デッドストックを除くと3~4日分の貯蔵量に当るので、骨材工場の仕上り砂も、バッチャーの仕上り砂も、同一月のものはほぼ同じものとみなしうる。

ここで仕上り砂(骨材工場のもの)とバッチャーの砂との標準偏差、変動係数を比較すると(表-2.9)バッチャーの砂は骨材工場の仕上り砂より月平均値がよくなっている。このことは骨材工場から仕上り砂を送り出すときに、2~3のフィーダーからベルトに積み込んでいることと、ベルト輸送中に平均化されることなどが原因であろう。しかし両者に試料数の差があること、最も粒度

の悪かった31年1月にはバッチャー プラントで試料を採取していない。骨材工場の粒度調整に全員が動員されたためである。このような事実を考慮して表-2.9はこの点に関しては幾分割引してみなければなるまい。

表-2.9によるとコンクリートに使用したバッチャー プラントの細骨材の粗粒率の変動係数は非常に小さく、5560回の連続試料のフルイ分け分析の結果は、粗粒率の最大値 2.71, 最小値 2.55 でその差は 0.16。平均値 2.63 との差は最大, 最小値ともに 0.08 にすぎない。

河川産の砂が佐久間ダムの骨材採取場の原砂のようにサイザーに適するものであれば表-2.9程度に粗粒率のばらつきの少ない細骨材を生産することは比較的容易である。

表-2.9 佐久間ダム細骨材粗粒率の月別統計表

年 月	仕 上 り 砂				バッチャー プラント砂			
	試料数	平均値	標準偏差	変動係数	試料数	平均値	標準偏差	変動係数
昭和30年1月	—	—	—	—	91	2.60	0.034	1.31
2	232	2.61	0.011	0.42	210	2.62	0.025	0.95
3	278	2.62	0.017	0.64	319	2.63	0.018	0.68
4	629	2.61	0.018	0.69	328	2.62	0.017	0.64
5	525	2.62	0.029	1.11	366	2.63	0.016	0.61
6	609	2.61	0.017	0.65	331	2.62	0.017	0.65
7	478	2.61	0.014	0.54	329	2.62	0.012	0.46
8	474	2.61	0.014	0.54	282	2.61	0.015	0.57
9	518	2.61	0.012	0.45	283	2.61	0.013	0.50
10	547	2.61	0.013	0.50	359	2.61	0.014	0.54
11	658	2.61	0.012	0.45	342	2.61	0.012	0.45
12	797	2.61	0.011	0.42	331	2.61	0.011	0.42
昭和31年1月	554	2.63	0.098	3.73	96	2.62	0.009	0.34
2	566	2.66	0.056	2.10	282	2.67	0.033	1.24
3	506	2.64	0.026	0.98	287	2.64	0.023	0.87
4	314	2.64	0.045	1.70	284	2.64	0.022	0.83
5	210	2.63	0.036	1.37	284	2.63	0.022	0.84
6	—	—	—	—	264	2.62	0.035	1.34
7	—	—	—	—	266	2.64	0.032	1.21
8	—	—	—	—	226	2.66	0.047	1.77
平均値	7895*	2.62	0.027	1.02	5560*	2.63	0.021	0.76

(注) 平均値は算術平均

\* 印は合計

### 3. コンクリートの品質の均一性について

#### (1) ま え が き

コンクリートの品質——たとえば圧縮強度——の均一性は推計学的に平均値( $\bar{x}$ ), 標準偏差( $s$ ), 変動係数( $v$ )ならびに不合格確率( $P$ )——たとえば許容限界以下の圧縮強度の発生確率——を尺度として表わされている。

ダムはその形式により, 高さにより, コンクリートの圧縮強度に対し, きわめて小なる変動係数と不合格確率を要求されるものと, しからざるものがあることは緒言に述べたとおりである。ダム コンクリートの所要圧縮強度はダムの安定計算と法規の定むる安全率とによって定まる。圧縮強度の不均一補正のために, コンクリート製造の目標圧縮強度は所要圧縮強度をある程度上まわることになる。この上まわる程度は圧縮強度の変動係数が大なるほど, 不合格確率が大なるほど大となる。この

変動係数と不合格確率は密接不可分のもので, これらは骨材の生産, コンクリートの製造などの設備とその運用に支配される。従って, コンクリートの経済施工は, この変動係数と不合格確率を目的のダムに対し適正に判断することにあるといっても過言ではない。

骨材については前に論じたので, ここでは前記3つのダムのコンクリートの圧縮強度試験結果にもとづいて, 現在の施工設備による変動係数の実態を求め, これを基礎として, 実行可能の変動係数, これに見合う不合格確率を組合せ, ダム コンクリート施工の基本的方針について, あるいはこれら試験実績により, 品質管理の問題について, 本論をすすめるつもりである。

前記3つのダムのうち, 佐久間ダムは中庸熱セメントのみを, 奥只見ダムは中庸熱セメントの一部をフライアッシュに置き替えてコンクリートを製造した。田子倉ダムでは両者を併用し, 三者三様のコンクリートを製造したので, 中庸熱セメントのみを使用したコンクリートと, 中庸熱セメントとフライアッシュを使用したコンクリートとの2種について, 前記調査研究を行なった。

3つのダムに使用した中庸熱セメントはそれぞれ製造会社が異なり, 圧縮強度, その変動係数に相異はあるが相互間のコンクリートの圧縮強度を比較するつもりはないから中庸熱セメントの性質については特例を除いてはこれを省略する。フライアッシュについても同様である。

次に圧縮強度の試験は JIS A 1108 により, 15×30 cm の供試体を使用したから, 採取した試料中の 50 mm を越える粗骨材はこれを除去した。この除去すべき粗骨材の量は計算上重量で全粗骨材の 50% 内外に達するから試料採取に当り, 特に大なる粗骨材はなるべくさけるようにつとめたが, それでも除去すべき大形粗骨材の量は相当多量となった。従って, 試験結果はそのままダムコンクリートの圧縮強度ではないことは明らかであり, さらには圧縮強度の変動係数にも影響していることが推定される。

さらに養生法は前記試験方法6条の3により, できるだけ構造物と同じ状態で養生する主旨から, 型わく取りはずしまでは自然気温の室内, 型わく取りはずし後は自然水温の水槽中で養生した。この養生方法は外観上ダムコンクリートと同じ状態であるが, ダム コンクリート温度測定の結果は, プレクーリングとパイプクーリングをなした部分では, 打ち込み後温度は一時 30°C 前後となるが一般的には二次クーリング開始まで——佐久間では約4カ月——は約 25°C を保っている。プレクーリングのみをなした部分では打ち込み後約1カ月以内に 30°C を少し越え, そのままの温度を長期に亘り保っている。この事実からみると実施した養生法にも欠陥がある。

このような試験方法によった後述の圧縮強度は実態を下まわり、その変動係数はこれを上まわる(大きくなること)ことは容易に推定される。従って、本文の試験結果の数字はある程度安全側にあるものと考えられる。

(2) 中庸熱セメントのみを使用したコンクリートの管理係数

佐久間ダムと田子倉ダムの一部では中庸熱セメントのみを使用した。これらのダムコンクリートの示方配合は付表-1のとおりである。田子倉ダムでフライアッシュを使用しないコンクリートの示方配合は本表中のフライアッシュをセメントに置き換えたものである。

a) 圧縮強度とその増加率 佐久間および田子倉ダムにおける材令 28 日と材令 91 日のコンクリートの圧縮強度の平均値は表-3.1のとおりであって、材令 28 日の圧縮強度に対する材令 91 日の圧縮強度の増加率は貧配合ほど大である。

試料採取順に 50 試料を 1 組とした組別の圧縮強度とその増加率とこれらの平均値は付表-2 に示してある。

① セメントの圧縮強度の上限と下限：一般にセメントの圧縮強度とコンクリートの圧縮強度との間には次の関係がある。

$$\sigma = K \sigma_n$$

$\sigma$  = コンクリートの圧縮強度

$\sigma_n$  = セメントの規格試験による圧縮強度

$K$  = セメント種類と水セメント比の関数で両者一定のときは常数

佐久間ダムに使用したセメントのうち昭和 30 年 8 月以降製造したものの平均圧縮強度は 454 kg/cm<sup>2</sup> であっ

表-3.1 材令 28 日および材令 91 日のコンクリートの圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>) とその増加率

ダム名	配合種別	試料数	単位セメント量	$\bar{\sigma}_{28}$	$\bar{\sigma}_{91}$	$\bar{\sigma}_{91}/\bar{\sigma}_{28}$
佐久間	I	128	240	316	409	1.30
	II	984	220	280	369	1.32
	III	637	200	232	304	1.31
	IV	295	180	189	262	1.39
	V	485	160	160	238	1.49*
田子倉	220-0	236	220	259	314	1.21
	200-0	73	200	252	311	1.23
	180-0	144	180	230	287	1.25
	160-0	105	160	170	221	1.30

(注) 試料中に異例のものがあり、これを除くと 1.43 となる。

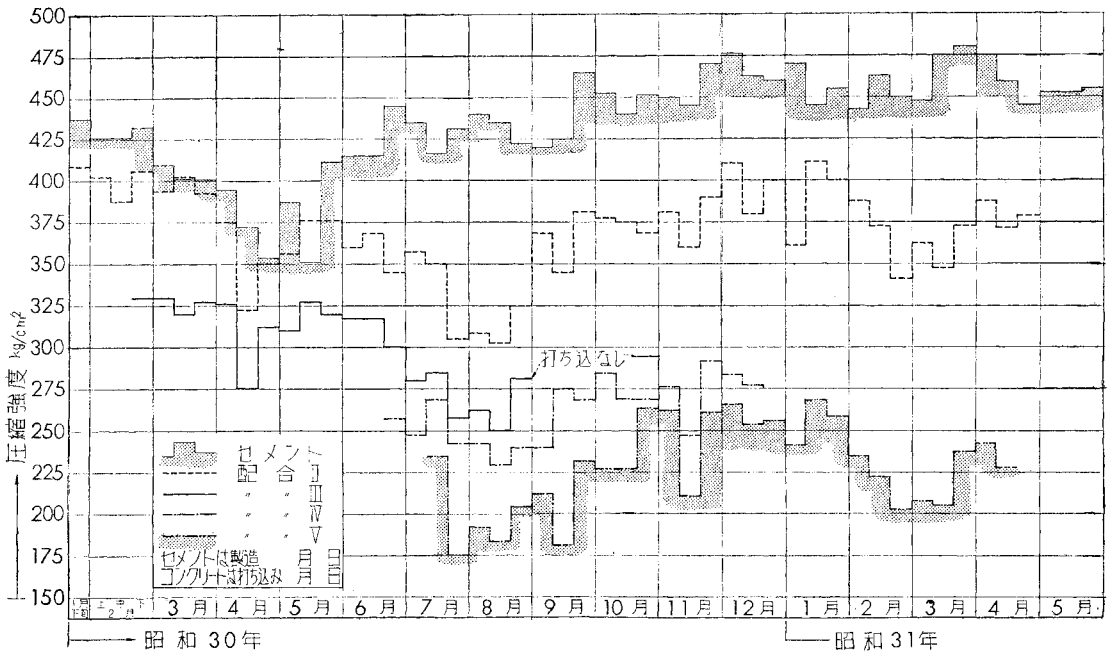
たが、それ以前、工場運転開始までもない昭和 30 年 4 ~ 5 月にセメントの圧縮強度が 350~400 kg/cm<sup>2</sup> (図-3.1 参照) すなわち平均圧縮強度  $\bar{\sigma}_n$  の 0.8~0.9  $\bar{\sigma}_n$  となった。このために図-3.1 にみるように、各種配合のコンクリートとも、このセメントを使用した 7~9 月にコンクリートの圧縮強度は平均値の 0.8~0.9 倍に低下し、上記公式とおりの結果となった。

このセメントは購入の条件に合格する強度であったから、圧縮強度の平均値は購入条件より非常に高いものであった。

このように購入条件に圧縮強度の下限だけを示すと、図のような結果となって、工事施工にすぐれた機械設備をなし、管理を厳重にしても、圧縮強度の変動係数を小さくすることは不可能であって、アーチダムのごとくコンクリートの管理がむずかしいものでは管理不能に陥るおそれがある。

材令 91 日の中庸熱セメントの圧縮強度の平均値は田

図-3.1 材令 91 日のセメントおよびコンクリートの旬別圧縮強度比較図



子倉で 496 kg/cm<sup>2</sup> 奥只見で 514 kg/cm<sup>2</sup> であった。この実例および佐久間の昭和 30 年 8 月以降の製造実績からみて、旬間に製造した中庸熟セメントの圧縮強度の平均値はおよそ次の程度に制限しようものとする。

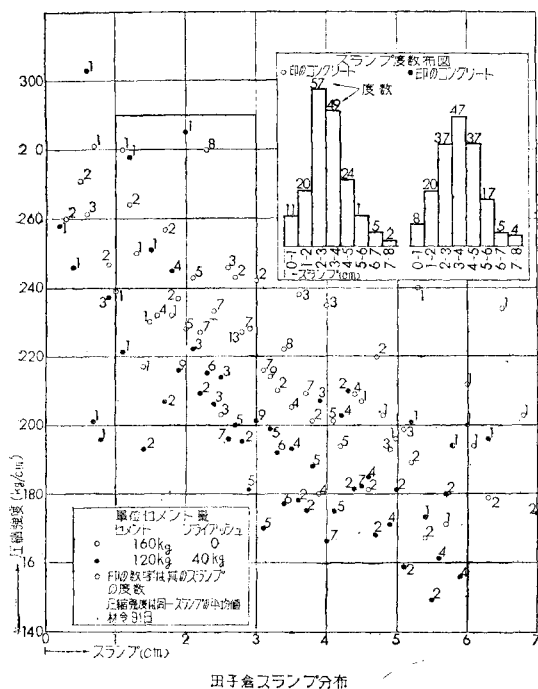
$$\bar{\sigma}_w = \sigma_n (1 \pm 0.05)$$

$\bar{\sigma}_w$  = 旬間に製造したセメントの圧縮強度の平均値  
 $\sigma_n$  = セメントの期待圧縮強度 (購入条件の平均強度であって、実績からみて 500 kg/cm<sup>2</sup> 程度)

期待圧縮強度は実績に近いものでないと、佐久間のような結果になるばかりでなく、必要以上にセメントを使用する結果となって不経済でもあり、圧縮強度の変動係数を大ならしめ、コンクリートの品質管理は混乱におちいる。

② スランプと圧縮強度：細骨材の表面水を細骨材貯蔵ビンにて排除しない現場で、多量にコンクリートを打ち込むとき、スランプによって使用水量を調整することが迅速で実情に適するために、多くの現場でこの方法が用いられている。しかしダム コンクリートのように水セメント比が 50% 内外でスランプ 2~4 cm 程度のとき (付表-1 参照)、スランプにて使用水量を調整することは万全の処置ではない。付表-1 の奥只見の示方配合ではスランプ 3.5±0.5 cm と規定してある。試験の結果によると貧配合のコンクリートでは 1 cm 内外のスランプは必ずしも使用水量に比例しない。図-3.2 は田子倉ダムにおけるスランプと圧縮強度の関係を示したものであって、この図ではスランプの増加に従って圧縮強度

図-3.2 田子倉ダムにおけるコンクリートのスランプと圧縮強度の関係

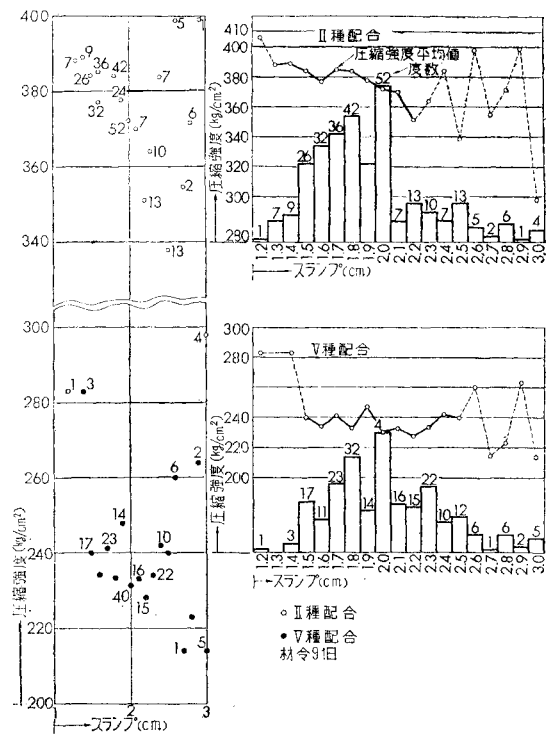


は低下し、スランプは使用水量を示したことになる。しかしこの例は後記する理由でスランプの範囲が 0~7 cm の広範囲にあるから図全体としては、スランプが使用水量を示している。しかし一般的には同一目的のコンクリート、特にダム コンクリートにおけるスランプの範囲はこの図の中の太線わく内の程度である。このわく内ではスランプが増加すれば圧縮強度が低下するとは断定できない。

図-3.3 は昭和 31 年 1 月から 4 月までの全試料についてスランプと圧縮強度の関係を求めたものである。この期間のスランプは 1.2~3.0 cm の範囲にあって、図-3.2 の太線わく内にある。この図も前の図-3.2 と同様に同一スランプを測定した度数が示してあり、圧縮強度は同一スランプを測定した試料の圧縮強度の平均値である。図の右の度数分布図に圧縮強度の平均値を記入すると、スランプと圧縮強度の関係が明らかになる。すなわちⅡ種配合では 1.5~2.5 cm の間で圧縮強度が多少低下しているが、Ⅴ種配合ではこの間、ほとんど圧縮強度の変化はみられない。このことは貧配合のコンクリートはスランプに鈍感であるという一般論をそのまま示している。

図-3.2 に示すように、スランプに大きな開きがあれば—使用水量に大きな開きがあること—スランプは明らかに使用水量の程度を表示している。しかし同じ目的に使用するコンクリート、特にダム コンクリートの

図-3.3 佐久間ダムにおけるコンクリートのスランプと圧縮強度の関係



ように水セメント比が小で、スランプにして2~4 cmの場合、大筋の水量はわかっているので、水量調整に使用されるスランプの範囲は1 cm内外にすぎない。この小なるスランプのわく内でわずかな水量を正しく測定することは、たとえ富配合のコンクリートでもむずかしいことは図-3.3によって明らかである。まして貧配合コンクリートではなおさらむずかしい。

従って、アーチダムのように管理のきびしいコンクリートの使用水量の調整にスランプを応用することはできない。

③ スランプの管理：佐久間の場合、スランプは標準、最大ともに2 cmを標準に管理したので、誤差は2 cm以下に予想される形で広がっている。特に使用水量とスランプが比較的つり合っているⅡ種配合では、この誤差の広がり方および、2 cm以上の誤差が急激に減少して、(図-3.3 参照)スランプの管理目的は達成されているが、Ⅱ種配合のスランプテストをしたと同じ職員が、同程度の注意をはらってしたⅤ種配合のスランプテストの結果は管理目標とほど遠い結果となった。(図-3.3 参照)このことは、同じ水量に対して、Ⅴ種配合のスランプはまちまちであること、すなわち、スランプに対して鈍感であることがここでもよく表われている。

田子倉の場合、スランプの標準を3~4 cmとした結果誤差は目標の両側に、ほぼ正規分布をなして広がっている(図-3.2 参照)。誤差の起こる範囲の広い、目標のスランプ以上の区域にひろく広がっているのも自然の原則どおりである。またフライアッシュを使用したコンクリートはウォーカーブルであるという一般論に答えて黒丸印の方が正しい度数分布をなしている。従って、この広がりの範囲が狭いならば、スランプの管理としては、当初の目的を達したことになる。

ここで、使用水量の管理にしばしば問題となることであり、コンクリート管理の重点でもあるので、なぜ田子倉のスランプがこのように広がったかにふれてみたい。

田子倉では骨材調査当時すでに、細骨材が所要量に過不足ない程度であったので、不足した場合を考慮して、別に細骨材専用採取場を調査し、万一の場合の備えとしていたものである。これにくわえて、工事実施の段階になると、原砂のばらつきが多く、サイザーにより放棄する量が非常に多くなり、常に細骨材の不足になやみ、仕上り砂は生産されると、ただちにバッチャーに運搬されることが多く、水切りの時間が短く、仕上り砂の表面水が非常に多かった。この表面水の見込み違いの%はわずかであっても、水の絶対量のくるいは大きく、これにくわえて、ここでは1日4000 m<sup>3</sup>、月12万 m<sup>3</sup>以上のコンクリートを打ち込んでいるので、たえまなく運ばれ来る仕上り砂の表面水の見込みをつけるに時間的余裕が少なかった。このような事情で、スランプを狭い範囲に

おさめるなど望むべくもなく、ただ圧縮強度が目標の圧縮強度以下にならないことに専念するのやむなきに至った。従って圧縮強度の変動も多く、変動係数は他の2つのダムに比較してかなり大となっている。

このように、細骨材の生産量が所要量をやっと、満たす場合には、事前に多量の細骨材を生産し、水を切ったものから順次使用しないと、いかにすぐれた施工設備をなしても満足なコンクリートの品質管理はできない。

以上2つのダムにおけるスランプ管理の目標の違いは図-3.2、図-3.3に示すように、度数分布に大なる違いを生ずるに至った。図-3.2の場合は細骨材の水きりがよければ狭い範囲で、スランプの度数は正規分布に近くなったものと推定される。しかしダムコンクリートのように無筋コンクリートの場合、スランプは目標より小なる区域に誤差を集中させることが望ましい。

従ってスランプの管理に当たっては、その目標とするスランプと許容最大限のスランプを明示すべきものと考ええる。

**④ 圧縮強度の変動係数** 前述のようにセメントの圧縮強度に極端な変動があればコンクリートの圧縮強度の変動係数に影響するが、前述の場合は特例であって、一般的にはセメントがコンクリートの圧縮強度の変動係数に影響する程度は無視しうるものである。もしそうでなくとも施工現場に直接関係する問題ではないから、以下セメントの問題は取り上げない。

1. に述べたように、現在の粗骨材フルイ分け設備では粗骨材の粒度のばらつきはある程度さけられない。従って、これがコンクリートの圧縮強度の変動係数に影響することは明らかであって、施工上当然考慮すべき問題である。

ここでは現在一般に使用されているフルイ分け設備で生産された骨材を使用し、使用水量はスランプにて調節したコンクリートの圧縮強度の変動係数の一例として、佐久間ダムのコンクリートについて述べる。

現業では一般に便宜上、毎月の試料について変動係数を求めているが、変動係数は試料数によって異なるので、各月の統計資料は参考にとどめ、ここでは、試料採取順に50試料を1組とした多数の組の圧縮強度の平均値、増加率、標準偏差、変動係数などを表-2のごとく求めこれによって以下の諸問題を取り扱う。

表-3.2(a)は50試料を1組とした多数の組の圧縮強度の変動係数の最大、最小および平均値である。

表-3.2(b)は全試料に対する圧縮強度の変動係数、その増加率、標準偏差比( $X$ )および $Y=X/k$ を示したものである。

一般に現業で行なわれている月別の統計資料によるこれらの値を佐久間の例をとってみると表-3.3のごとくになって、表-3.2(a)の組別変動係数の値と大差はない。

表-3.2 (a) 佐久間ダムにおける材令 28 日と材令 91 日のコンクリートの圧縮強度の組別変動係数の最大最小および平均値

配合種別	組数	材令 28 日				材令 91 日			
		$\bar{v}_{28}$ kg/cm <sup>2</sup>	$v_{max}$ %	$v_{min}$ %	$v_{28}$ %	$\bar{v}_{91}$ kg/cm <sup>2</sup>	$v_{max}$ %	$v_{min}$ %	$v_{91}$ %
I	2	319	13.6	11.4	12.5	414	9.4	8.2	8.8
II	19	279	15.8	11.3	13.2	368	13.5	8.2	10.7
III	12	234	20.1	11.0	14.1	305	14.6	7.5	11.2
IV	5	191	16.6	12.8	14.9	257	16.1	8.8	12.7
V	9	160	20.3	13.7	16.5	239	15.4	9.6	13.0

- (注) 1. 一組の試料数は 50  
 2.  $\bar{v}$  は各組の圧縮強度の平均値  $\bar{v}$  の平均値  
 3.  $\bar{v}$  は各組の圧縮強度の変動係数の平均値  
 4.  $v_{max}, v_{min}$  は同上変動係数の最大と最小値  
 5. 平均値はいずれも算術平均値  
 6. 各組の  $\bar{v}, v$  は付表-2 参照

表-3.2 (b) 全試料に対する圧縮強度の変動係数 (v), 標準偏差 (s), 圧縮強度の増加率 (k), X, Y

配合種別	試料数	材令 28 日		材令 91 日		$k = \frac{\bar{v}_{91}}{\bar{v}_{28}}$	$X = \frac{s_{91}}{s_{28}}$	$Y = \frac{v}{k}$		
		$\bar{v}_{28}$ kg/cm <sup>2</sup>	$v_{28}$ %	$\bar{v}_{91}$ kg/cm <sup>2</sup>	$v_{91}$ %					
I	128	316	13.0	41.18	409	9.6	39.34	1.30	0.96	0.74
II	984	280	14.3	40.03	365	12.7	46.95	1.32	1.17	0.89
III	637	232	15.5	36.06	304	13.1	39.67	1.31	1.10	0.84
IV	295	189	16.1	30.40	262	13.9	36.33	1.39	1.20	0.86
V	485	160	18.7	29.94	238	15.8	37.55	1.49	1.25	0.84

従って、現業の調査統計としては月別にとりまとめたもので十分である。表-3.3 の月別試料数の少ないものは、次の月の試料と合わせて考えればさらによい。

表-3.3 佐久間ダムにおける月別統計による材令 91 日のコンクリートの圧縮強度の変動係数

配合種別	月数	変動係数			月別試料数
		最大	最小	平均	
I	3	10.4	8.5	9.5	36, 43, 35
II	15	13.7	7.5	11.0	47, 59, 26, 75, 89, 81, 71, 54, 58, 59, 57, 83, 89, 77, 47
III	6	13.6	7.5	10.6	72, 142, 133, 124, 98, 50
IV	6	14.0	7.5	11.4	46, 52, 28, 69, 70, 22
V	8	15.8	9.1	13.2	16, 47, 21, 63, 97, 108, 74, 42

表-3.2 および 付表-2 により圧縮強度の変動係数には次のような性質が見られる。

㊤ 富配合ほど変動係数は小である。

富配合のコンクリートほどスランプに敏感であるから、スランプで使用水量を調整するときの水セメント比の変動が小さいこと、またウォークプルであるから、骨材の粒度の変動が使用水量の調節におよぼす影響が少ないこと、などが主たる原因であろう。

㊦ 材令が長くなるほど変動係数は少なくなる。

材令 28 日と材令 91 日の圧縮強度の変動係数を比較すると次の (1) 式のようなになる。

$$\frac{v_{91}}{v_{28}} = \frac{s_{91}}{s_{28}} \times \frac{s_{28}}{s_{91}} = \frac{s_{91}}{s_{28}} \times \frac{1}{\frac{s_{91}}{s_{28}}} = \frac{X}{k} < 1 \dots \dots (1)$$

$\bar{v}_{28}, \bar{v}_{91}$  = それぞれ材令 28 日と材令 91 日のコンクリートの圧縮強度の平均値

$s_{28}, s_{91}$  = それぞれ材令 28 日と材令 91 日のコンクリ

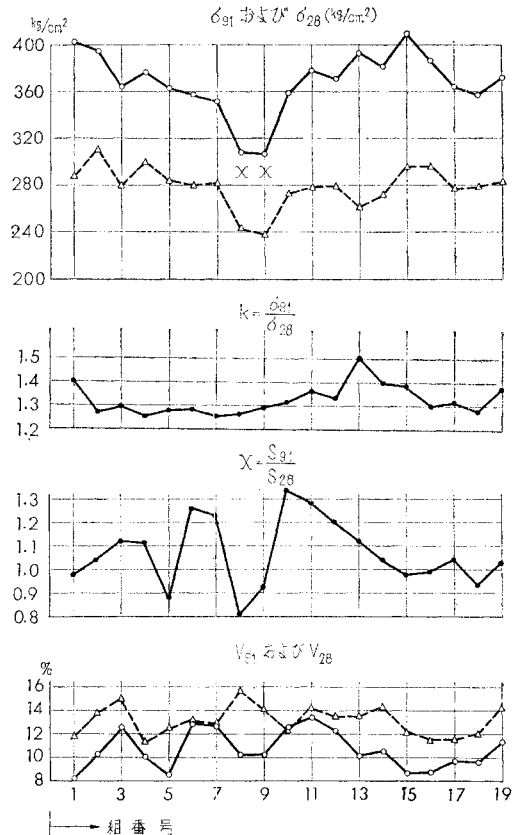
ートの圧縮強度の標準偏差

$$k = \frac{\bar{v}_{91}}{\bar{v}_{28}} \quad X = \frac{s_{91}}{s_{28}}$$

付表-2 において各種配合の  $Y = X/k$  の値が 1 より大なる組は 45 組の内 1 組にすぎない。また 図-3.4 に II 種配合のコンクリートの  $k$  と  $X, v_{28}$  と  $v_{91}$  がともに同一尺度で示してある。これによっても  $X/k$  が 1 より大となるのは特殊の場合で異例にぞくする。従って一般的には (1) 式が成立すると考えられる。すなわち、 $v_{91} < v_{28}$  である。

㊧ 試料数が多いほど(変動係数(v))は大となる。試料数が多いとよくない試料が多くなる。また試料が多いことは期間が長いことにも通じるから、長期の間には粗骨材、細骨材の粒度の小なる変化

図-3.4 佐久間ダムにおける II 種配合コンクリートの圧縮強度、その増加率、標準偏差比と変動係数



- 印 材令 91 日 △ 印は 材令 28 日  
 $\bar{v}$  = 圧縮強度の平均値 S = 標準偏差 V = 変動係数  
 k = 圧縮強度増加率 X = 標準偏差比率

(注) 図中×印はセメントの影響によるもので(2)の a) の①の説明参照

が重なって来るので試料全体としては圧縮強度の上限と下限の間隔が大となり、 $v$ も大となる。期間が短いときは、試料数は多くとも $v$ はあまり大とならないのが普通である。現業で月別にとりまとめた(月別のものは試料数が月ごとに異なる)ものと、ここに計算している50試料一組のものとの差は比較的少ない。月によっては試料数100を起えるものもあるが短期であるのであまり影響はない。従って現業のとりまとめとしては月別で十分である。

**c) 材令 91 日の圧縮強度の変動係数の事前推定** コンクリートの品質管理は材令 91 日を基準として行なわれるが、現業の問題としてはなるべく早く製造しつつあるコンクリートの品質の見通しをつけて、その可否を判断して悪いところを修正したい。そこで著者は次の理論により  $v_{28}$  によって  $v_{91}$  を推定することを提案する。

$Y=v_{91}/v_{28}$  とおけば (1) 式は次のようになる。

$$Y = \frac{1}{k} X \dots\dots\dots (2)$$

また **付表-2** の各組の数字を用いて  $k$  の変動係数と  $k$  の平均値、 $X$  の変動係数と  $X$  の平均値  $Y$  の平均値 ( $Y = X/k$ ) を求めると **表-3.4** のとおりとなる。

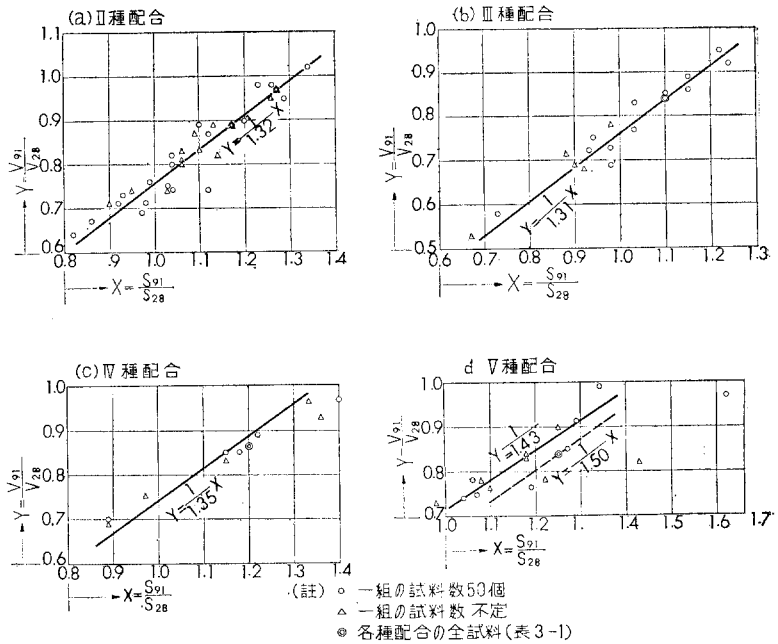
**表-3.4 組別に求めた  $k, X, Y$  の平均値と  $k, X$  の変動係数**

配合種別	組数	$\bar{k}$	$k$ の変動係数 %	$\bar{X}$	$X$ の変動係数 %	$\bar{Y}$
I	2	1.30	—	0.89	—	0.68
II	19	1.32	5.1	1.07	13.7	0.81
III	12	1.31	3.9	1.04	13.8	0.80
IV	5	1.35	5.5	1.15	16.5	0.85
V	9	1.50	10.3	1.19	18.5	0.80
	(7)	(1.43)	(5.3)	(1.81)	(10.5)	(0.83)

(注) 1.  $\bar{k}, \bar{X}, \bar{Y}$  はそれぞれ組別の  $k, X, Y$  の算術平均値  
 2. V 種配合の下段 ( ) 内は 9 組中異例の組 4, 5 番を除いた場合

この表によると、 $k$  の変動係数はきわめて小である。V 種の変動係数は大となっているが、この 9 組中に非常に異例な 2 組があるため、これを除くと、ここでも変動係数は小となる。すなわち  $k$  の変化は少ないから、 $k$  を常数と仮定することができる。また  $k$  の値は工事着手前のコンクリート試験によってこれを求めることができるのでここで  $k$  は既知の常数と仮定する。この結果 (2) 式

**図-3.5  $Y = \frac{1}{k} X$  直線と組別計算値 ( $X, Y$ ) との関係図**



(注) 1. ○印は 50 試料 1 組としたもの  
 2. △印は月別試料によるもので、その試料数は 表-3.3 のとおり  
 3. ●印は各種配合の全試料によるものである

は直線式となって、工事着手前に定められる  $Y$  と  $X$  の関係式である。

佐久間の場合、使用したセメントの製造工場が、コンクリート打ち込み直前に運転を開始したので、このセメントに対す  $k$  を求めることはできなかったの、ここでは **表-3.4** の  $k$  を用いて、各種配合に対する (2) 式の直線を **図-3.5** のように書き、**付表-2** の各組の  $X, Y$  の値からこの図上に点をおとすと、丸印のようになってほぼこの直線の近くに集中する。

次に標準偏差は試料数によって異なるが、 $X (=s_{91}/s_{28})$  は標準偏差の比であるから、 $s_{91}, s_{28}$  が同一コンクリート(材令 28 日と材令 91 日のコンクリートが単に材令のみ異なる同一母集団のもの)同一試料数であれば、試料数の影響は消える。従って試料数に関係なく (2) 式は成立する。今現業の統計による月別試料から  $X$  と  $Y$  を求め **図-3.5** におとすと、三角印もまた (2) 式の直線の近くにことごとく集中する。

また全試料による  $X, Y$  (**表-3.2 (b)**) の点、図中の二重丸印もこの直線上にある。すなわち (2) 式は試料数に関係なく成立することがよくわかる。しかし  $k$  の変動は小であっても、 $X$  の変動すなわち圧縮強度の標準偏差の変動、いいかえれば変動係数が大であればこの図のように、各点が直線の付近に集中しない。**図-3.6** に示す奥只見の材令 91 日の例はこの事実を示している。また **図-3.5 (d)** においては、**表-3.4** の  $k$  を用いた直線は



図中の点線となって、付表-2 から求めた  $X, Y$  の各点はこの点線の付近に集中しない。これは図に見られるように他の点から非常に離れた2点(2点のうち1点図外にあって、付表-2 のV種の組番号4, 5番)があるために、表-3.4 の  $k$  の平均値が、この異例の試料に支配されたためである。この異例の2組を除いた  $k$  (表-3.4 の( )内の数字)を用いると、(2)式の直線は図中の実線となって、各点はこの直線の付近に集中している。工事着手前のコンクリート試験においては、このような異例のものは切り捨てるはずであるから図-3.5 (d) のようなことは起こらないが、変動係数の大きさが20%を越える試料集団(組)に対しては(2)式のような数式はあてはまらない。

従って、変動係数20%以下の試料集団においては、工事前の調査にて  $k$  の値を定めれば、現実の試料に無関係に(2)式にて、 $X, Y$  の関係は定まる。

次に(2)式中の  $X$  の値を推定することができれば  $Y = v_{91}/v_{28}$  すなわち、 $v_{91}$  と  $v_{28}$  の比率は求められる。この  $X$  の値は表-3.4 を修正して求める。表-3.4 は50 試料を1組とした多数の組の平均値(付表-2)であるが、この中には図-3.1 に示したようなセメントの欠陥による(付表-2 の右端に黒丸を付した組)異例のもの、または図-3.5 (d) にて説明した特例などをふくんでいるので、これらを除いて、 $X = s_{91}/s_{28}$ 、 $Y$  の平均値を求めると表-3.5 のとおりとなる。

表-3.5  $Y = \frac{1}{k} X$  式中の  $X, Y$  の値

配合種別	$X$ の平均値	$X$ の最大値	$X$ の最小値	$\bar{Y} = \frac{X}{k}$
II	1.11 (1.10)*	1.29	0.93	0.83
III	1.09 (1.10)	1.24	0.98	0.83
IV	1.15 (1.15)	1.21	1.05	0.85
V	1.18 (1.20)	1.34	1.04	0.83

(注) \* 配合種別ごとに組数が異なるゆえに括弧内のごとく修正した理由は正規分布曲線の標準偏差を  $S$  とすれば、

$$S \doteq \frac{\bar{S}}{C_n} \quad \bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i \quad \bar{S} = m \text{組の } s \text{ の平均値}$$

$n=1$  組の試料数  $m=$  組数

$$C_n = 1 - \frac{3}{4n} - \frac{7}{32n^2} \dots \approx 1 \quad (n=50 \text{ のとき})$$

$$\therefore S = \bar{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i$$

各種配合別の母集団の標準偏差は近似的に  $m$  組の標準偏差の平均値である。従って組数が多いほど母集団の標準偏差に近く、よって  $m$  の数の異なるものをそのまま表-3.5 のごとくならべたのではつりあいがとれない。

表-3.5 の  $X$  の平均値は、配合別には組数も異なるので、これを括弧内のごとく修正して一般的の  $X$  の標準値とする。この値を用いれば  $Y$  の値は計算できる。すなわち、材令28日の圧縮強度の変動係数  $v_{28}$  より材令91日の圧縮強度の変動係数を推定できることとなる。

表-3.5 は佐久間の1例にすぎないが、II種では  $X$  の値は、1.10~1.32(= $k$ )<sup>(2)</sup> V種では 1.20~1.43(= $k$ )<sup>(1)</sup>

(表-3.4 参照)の間において、その変化の巾はきわめて狭く、現実の問題として  $X=k$  となることはないから<sup>(2)</sup>、佐久間程度の設備でコンクリートを製造すれば表-3.5 の値は、違ってもきわめてわずかであると推定される。従ってこの値は一応一般的に使用できる。

完備した設備で製造されるアーチダムのコンクリートのように、細骨材の表面水を一定化して、しかも富配合のコンクリートを使用すれば  $X$  の値はこれより  $k$  に近づく<sup>(1)</sup>であろう。

表-3.5 の  $X$  を用いれば

$$\bar{v}_{91} = \frac{X}{k} \bar{v}_{28} \dots \dots \dots (3)$$

となって  $\bar{v}_{28}$  より  $\bar{v}_{91}$  を推定することができる。

なお表-3.5 中  $\bar{Y}$  は  $X$  の平均値を求めたのと同じ組の  $Y$  の値の平均値である。 $\bar{v}_{91}$  のおよその見込値はこの  $\bar{Y}$  を用いて、 $k$  に無関係に求めることができる。すなわち

$$\bar{v}_{91} = 0.84 \bar{v}_{28} \dots \dots \dots (3')$$

(3) フライアッシュを使用したコンクリートの管理係数

奥貝見では中庸熱セメントの一部、すなわちセメント+フライアッシュ(以下C+Fと書く)の30%をフライアッシュに置き替えた。また骨材は細粗ともに人工骨材で、細骨材の粗粒率は非常によかった。

フライアッシュを使用したコンクリートは短期強度が弱い欠点がある。すなわち短期強度ではこのコンクリートの真の姿は不明であるから長期強度を知るために、材令365日の試料が必要であるが、現在の管理基準が材令91日であるため、材令365日の試料はきわめて少ない。ただ貧配合のIV, V種は材令91日では圧縮強度不足のおそれがあったので、材令365日の試験をして強度の確認をした。その結果この試料は相当数ある。富配合ではこの心配がなかったために試料はきわめて少ない。従って、主としてこの二種の試料により本論を進める。

a) 圧縮強度とその増加率 材令別の圧縮強度とその増加率は表-3.6のとおりである。

この表によると ㉔ フライアッシュを使用したコンクリートは材令91日から材令365日の間に圧縮強度が非常に増進する。㉕ この増加率は貧配合ほど大である。㉖ この2つの傾向はフライアッシュを使用しないコンクリートと全く類似している(表-3.1 と表-3.6 の比較において)

(注) (1)  $n$  を試料数とすれば標準偏差 ( $s$ ) は次のとおりとなる。

$$s_{28} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_{28i} - \bar{\sigma}_{28})^2}{n-1} \right\}^{1/2} \quad s_{91} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_{91i} - \bar{\sigma}_{91})^2}{n-1} \right\}^{1/2}$$

$k$  を常数と仮定すると  $\sigma_{91i} = k \sigma_{28i}$   $\bar{\sigma}_{91} = k \bar{\sigma}_{28}$  であるから  $s_{91} = k s_{28}$  となり  $X = (s_{91}/s_{28}) = k$  となる。また(1)式より  $X < k$

(2) 2の(b)の㉔参照

表-3.6 奥只見ダムにおける材令 28 日, 91 日, 365 日のコンクリートの圧縮強度とその増加率

配合種別	試料数	単位セメント量 kg	単位フライアッシュ量 kg	$\sigma_{28}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_{91}$	$\bar{\sigma}_{365}$	$k_{91} = \frac{\bar{\sigma}_{91}}{\bar{\sigma}_{28}}$	$k_{365} = \frac{\bar{\sigma}_{365}}{\bar{\sigma}_{91}}$
I	15	161	69	226	336	422	1.49	1.26
II	100	147	63	199	310	386	1.56	1.25
III	19	126	54	165	269	338	1.63	1.26
IV	450	112	48	125	212	298	1.70	1.41
V {	440	98	42	83	142	233	1.71	1.64
	1000	98	42	101	170	—	1.68	—

(注) V 種配合の試料数 1000 はフライアッシュをペーストとして使用したコンクリートの試料である。この中には上段の 440 はふくまない。

すなわち、フライアッシュを使用したコンクリートの圧縮強度の最終の姿は材令 365 日において発揮される。このことは一般にいわれていることの証明にすぎないが、ことさらこれを取り上げた理由は、現在のように  $\sigma_{91}$  を管理の基準とするときは、一段上の配合を使用するのやむなきにいたり(表-3.6 の  $\bar{\sigma}_{91}$  と  $\bar{\sigma}_{365}$  の比較において)きわめて不経済であることと、次の変動係数の問題があるからである。

**b) 圧縮強度の変動係数** IV, V 種のコンクリートにおいて、試料採取順に 50 試料を一組とした組別の変動係数 ( $v$ ) の最大, 最小および, 平均値 ( $\bar{v}$ ) は表-3.7 (a) のとおりとなる。また全試料を一組とした  $v$  の値は同表 (b) のとおりである(各組の値は付表-3 のとおり)

この表によると、(2)にて述べたフライアッシュを使用しないコンクリートの材令 28 日と材令 91 日の関係と全く同様の関係が材令 91 日と材令 365 日の間にある。すなわち、 $\textcircled{a}$ 富配合ほど変動係数( $v$ )は小である。 $\textcircled{b}$ 材令が長いほど  $v$  は小である。 $\textcircled{c}$ 試料数が多いほど  $v$  は大である。

表-3.7 (a) 奥只見ダムにおけるコンクリートの圧縮強度の組別変動係数 (%) の最大, 最小および平均値

配合種別	組数	材令 28 日			材令 91 日			材令 365 日		
		$v_{max}$	$v_{min}$	$\bar{v}$	$v_{max}$	$v_{min}$	$\bar{v}$	$v_{max}$	$v_{min}$	$\bar{v}$
II	2	23.0	15.8	19.4	16.8	11.5	14.2	12.2	9.6	10.9
IV	9	22.6	14.5	18.0	18.0	12.3	15.1	13.5	10.6	11.9
V {	8	24.1	19.2	21.7	19.5	16.1	17.8	15.2	10.3	13.2
	20	27.2	12.1	17.2	21.2	10.0	14.6	—	—	—

(b) 全試料に対する圧縮強度の変動係数

配合種別	試料数	材令 28 日		材令 91 日		材令 365 日	
		$\bar{\sigma}_{28}$	$v_{28}$	$\bar{\sigma}_{91}$	$v_{91}$	$\bar{\sigma}_{365}$	$v_{365}$
I	15	226	21.7	336	11.2	422	7.7
II	100	199	20.8	310	16.2	386	11.0
III	19	165	19.0	269	14.3	338	10.4
IV	450	125	19.7	212	15.9	298	11.9
V {	440	83	25.2	142	18.3	233	14.1
	1000	101	19.0	170	16.1	—	—

(注) \* フライアッシュをペーストとして使用したコンクリートの試料

結論としてフライアッシュを使用したコンクリートの圧縮強度の変動係数( $v$ )の最終の姿は材令 365 日にこれを見ることが出来る。フライアッシュをペーストと

して使用しても(表-3.6, 表-3.7 参照)この結論に変わりはない。

従って、フライアッシュを使用したコンクリートの品質管理の基準は材令 365 日が妥当である。

**c) 材令 365 日の圧縮強度の変動係数の事前推定** 組別に計算した結果によると  $k_{91} = \bar{\sigma}_{91}/\bar{\sigma}_{28}$ ,  $k_{365} = \bar{\sigma}_{365}/\bar{\sigma}_{91}$ , とともにその変動係数は小で、これを常数と仮定できるので(2)式はこのコンクリートにも

応用できる。

$$X_{91} = \frac{S_{91}}{S_{28}}, Y_{91} = \frac{v_{91}}{v_{28}}, X_{365} = \frac{S_{365}}{S_{91}}, Y_{365} = \frac{v_{365}}{v_{91}}$$

とおくと(2)式は次のとおりとなる。

$$\left. \begin{aligned} Y_{91} &= \frac{1}{k_{91}} X_{91} \\ Y_{365} &= \frac{1}{k_{365}} X_{365} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

試料数の最も多い IV, V 種について、この 2 つの直線(実線は  $Y_{365}$  直線, 点線は  $Y_{91}$  直線)をえがき、付表-3 の組別に計算した  $X_{91}$ ,  $Y_{91}$  および  $X_{365}$ ,  $Y_{365}$  の点を図上におとして見ると図-3.6 のとおりとなる。図中丸印は材令 365 日の点で、これらの点は実線の近くに集中しているが、黒三角印の材令 91 日の点は点線から相当はなれていて、 $Y_{91}$  の直線は応用できない。しかしフライアッシュをペーストとして使用すると、図-3.6 (e)のごとく材令 91 日においても材令 365 日と同様に、計算値  $X_{91}$ ,  $Y_{91}$  は点線の付近に集中する(これは材令 91 日で  $v$  が小であることを示す)ので応用できるが、材令 365 日の圧縮強度の変動係数を(4)式の二式を用いて  $v_{28}$  から求めると、誤差重複して危険であるから、原則としては材令 365 日の圧縮強度の変動係数の推定には材令 91 日のものを基準とする。

$Y_{365}$  式を応用するとき  $X_{365}$  の値は付表-3 の組別計算値の平均値をそのまま使用でき、その値は表-3.8 のとおりとなる。

表-3.8  $Y_{365} = \frac{1}{k_{365}} X_{365}$  式中の  $X_{365}$  の値

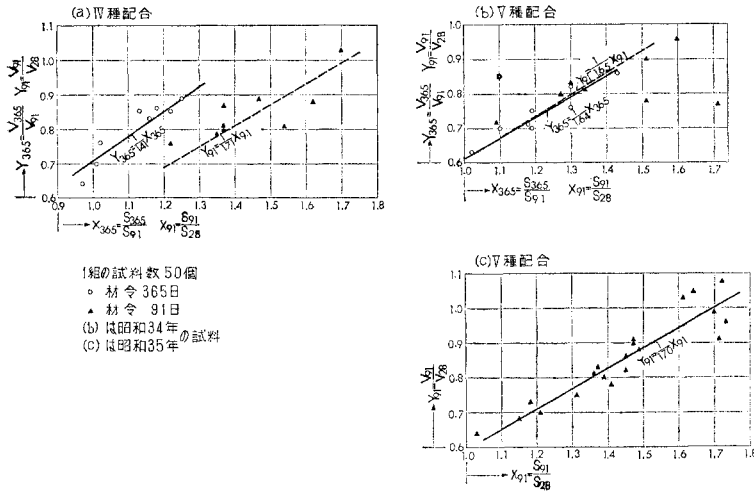
配合種別	$X_{365}$ の平均値	最大値	最小値
IV	1.11	1.25	0.97
V	1.21	1.43	1.02

この値を用いれば(4)式より

$$\bar{v}_{365} = \frac{X_{365}}{k_{365}} \bar{v}_{91} \dots\dots\dots (5)$$

となり、 $\bar{v}_{365}$  を推定することができる。試料数が少ないので(3')式の  $\bar{Y}$  の数字はここでは求めかねる。試料数が少ないこと、人工骨材を使用したコンクリートであること、(2)の(c)の説明により、 $X_{365}$  の値と  $k_{365}$  の値との開きが大きすぎる(表-3.6, 表-3.8),

図-3.6  $Y = \frac{1}{k} X$  直線と組別計算値 (X, Y) との関係 (奥只見 IV, V 種配合)



組別の試料数 50個  
 ○ 材令 365日  
 ▲ 材令 91日  
 (b) 昭和34年  
 (c) 昭和35年の試料

フライ アッシュをペーストとして使用したコンクリートでないこと、などの理由で表-3.8の  $X_{365}$  の値は一般に適用しうるものではない。

**d) 貧配合コンクリートについて** ここで貧配合コンクリートというのはコンクリート  $1\text{ m}^3$  に対し C+F(セメント+フライ アッシュ)=140 kg 以下のものである。このような貧配合コンクリートの使用が可能であれば、これの対象となる構造物は重力ダムに限られる。高さ 60~70 m 以下の重力ダムの最大主応力度は  $20\text{ kg/cm}^2$  内外であって、所要圧縮強度は  $100\text{ kg/cm}^2$  となり、きわめて低い値である。また同程度の高さのアーチ形重力ダムにおいても、下流面の勾配を、静水圧に対し単独で抵抗できる、6分程度にすれば、その最大主応力度は  $30\text{ kg/cm}^2$  程度となって所要圧縮強度は  $150\text{ kg/cm}^2$  内外にすぎない。この程度のダムでは、基礎最低部のコンクリートを打ち始めてから、貯水池満水までの期間はほぼ一カ年と考えるとさしつかえない。従ってこのダムのコンクリートは材令 365 日を基準として管理することができる。単位 (C+F) 140 kg のコンクリートは材令 91 日で、その圧縮強度は  $140\text{ kg/cm}^2$  (表-3.6 参照)、材令 365 日で  $200\text{ kg/cm}^2$  程度となって、所要強度の 2 倍ないし 1.33 倍となっている。

従って、これよりさらに単位 (C+F) の低いコンクリートの使用が可能か否かを調査するために、単位 (C+F)

表-3.9 貧配合コンクリートの配合表

配合種別	C+F kg	単位 F/C+F %	使用水量 kg	セメント 空けき比 C+F/p	空気量 %	細骨材		組骨材 (kg)					
						重量 kg	粗粒率	150-80	80-40	40-20	20-10	10-5	計
120-0	120	0	94	0.92	3.6	532.1	2.70	477.1	443.1	374.9	272.6	136.3	1704
120-30	"	30	93	0.90	4.0	529.9	"	475.2	441.2	373.3	271.5	135.8	1697
120-40	"	40	92	0.92	3.9	528.7	"	474.0	440.2	372.5	270.9	135.4	1693
120-50	"	50	91	0.94	3.7	528.3	"	473.8	440.0	372.2	270.7	135.4	1692

(注) 1. 本表中の単位 kg のものはコンクリート  $1\text{ m}^3$  当たりの使用量を示す。  
 2. 本表は表-3.10, 表-3.11 に示す試験に使用したものである。

120 kg としたコンクリートの圧縮強度を調査した結果は表-3.9 および表-3.10 のとおりとなって、いずれも材令 91 日で  $100\text{ kg/cm}^2$  を越え、材令 365 日で  $200\text{ kg/cm}^2$  となっている。しかもフライアッシュ混合比率 F/C+F=30~50% の範囲では、材令 365 日の圧縮強度に大差はない。またスランブの点からみれば F/C+F 大なるものが大きくウォークアブルであることがわかる。

また奥只見のバッチャープラントで単位 (C+F) 120 kg (F/C+F=30%) のコンクリートを練り混ぜて、試験的に打ち込んでみた結果は表-3.11 のとおりとなった。この

表-3.10 貧配合コンクリートの圧縮強度

配合種別	供試体数	単位 C+F kg/m <sup>3</sup>	F C+F %	スランブ cm	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		
					$\sigma_{28}$	$\sigma_{91}$	$\sigma_{365}$
120-0	3	120	0	1.5	160	173	209
120-30	3	120	30	1.5	92	154	210
120-40	3	120	40	1.5	75	131	204
120-50	3	120	50	2.0	74	130	208

(注) 使用骨材は人工骨材

試験では材令 182 日で 7 供試体の圧縮強度の平均値は  $152.6\text{ kg/cm}^2$  となっていて、材令 365 日となれば  $200\text{ kg/cm}^2$  に近いものになろう。

表-3.11 現場打ち込み貧配合コンクリートの圧縮強度

配合種別	スランブ cm	空気量 %	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		
			$\sigma_{28}$	$\sigma_{91}$	$\sigma_{182}$
120-30	3.3	4.6	53	101	138
"	1.7	4.0	80	147	172
"	5.6	4.6	57	115	254
"	3.5	4.3	65	140	144
"	4.3	4.5	66	104	131
"	3.4	4.8	62	112	136
"	5.5	5.0	51	108	93
平均			62	118.1	152.6

これら試験の供試体の数はすくないが表-3.6 などと比較すれば大体において圧縮強度に関する限り、この程度の貧配合コンクリートの使用は可能であるといえる。

しかし現場面からみればウォークアブルかどうか。これ

を試験的にみれば圧縮強度の変動係数がどの程度かということにもなる。ミキサのバッチを異にする多数の供試体の試験によって変動係数はある程度判断することが可能であろう。ウォーカブルなコンクリートの変動係数は小さい(たとえば富配合ほど変動係数は小さい,これはその1例)といえるが,このような貧配合コンクリートになると,変動係数が小であるからウォーカブルであるとの逆説が成立するかどうか。この点,現業認定の問題として残る。ウォーカブルかどうかは,現業試験以外にきめてがたい。現業におけるウォーカブルかどうかは,振動締固め機の使い方の難易に帰着する。数本の振動締固め機を小型ブルのアームに取りつけた装置の作用によって,ウォーカビリティの悪いコンクリートもある程度その欠陥を取り除くことができよう。

現業試験で実物に適用してはじめて可否の判断ができるので,単位(C+F)を120kgまでおとさなくとも,単位(C+F)130kgとし,F/C+F=40~50%とすれば,単位(C+F)120kg(F/C+F=30%)のコンクリートに比して,セメントとフライアッシュがバッチャープラントに到着するまでの価格は2%くらい高価になる程度であるから経済的にはほぼ同等と考えられること,現在使用を許されている単位(C+F)140kgに近いので安心して使用できること,この程度ならばウォーカビリティの点からみても,特に困難とは考えられないこと,などの理由で現業試験を実施し使用可能なることを確認できれば,残る問題はその品質管理に万全の措置を講ずることだけになる。

さらにフライアッシュをペーストとして使用すること,および(4)の(b)に述べようとしている事実を知ればこの種貧配合コンクリートの使用可能の感をますます深くするものである。

(4) ダムコンクリート製造の目標圧縮強度とその変動係数および不合格確率

ダムコンクリート製造の目標圧縮強度(以下単に目標強度という)を定める場合には,コンクリートの品質の変動を考慮して,所要圧縮強度(以下単に所要強度という)を適当に割り増さなければならない。すなわちコンクリートの圧縮強度の変動係数を考慮して目標強度を選定することになっている。そこで前述のダムコンクリートの圧縮強度とその変動係数,不合格確率と目標強度の関係をここで取り扱ってみる。

a) 目標強度選定の方針 土木学会ダムコンクリート標準示方書第81条に,ダムコンクリートの圧縮強度について,次のごとく規定してある。

第1条件——工事現場のバッチから造った供試体の $\sigma_{91}$ が設計強度を安全率倍した所要強度の80%を下まわる不合格確率は1/20以下であること。

第2条件——引き続きとった5バッチにおける $\sigma_{91}$

の平均値,すなわち $\bar{\sigma}_{91}$ が所要強度を下まわる不合格確率も1/20以下であること。

この規定は圧縮強度を規定したものであるが,反面目標強度の規定である。

工事現場のバッチから造った供試体(以下単に試料という)の圧縮強度の度数分布が図-3.7の正規分布をなすものとして,目標強度を求めると次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma} &\geq \alpha_1 [\sigma] \\ &\geq \alpha_2 [\sigma] \\ \alpha_1 &= \frac{0.8}{1 - x \cdot \frac{V}{100}} \\ \alpha_2 &= \frac{1}{1 - \frac{x}{\sqrt{5}} \times \frac{V}{100}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

[ $\sigma$ ] = 所要強度

$\bar{\sigma}$  = 目標強度

V = 目標強度のコンクリートの変動係数(%)

$\alpha_1$  = 第1条件による割増し係数

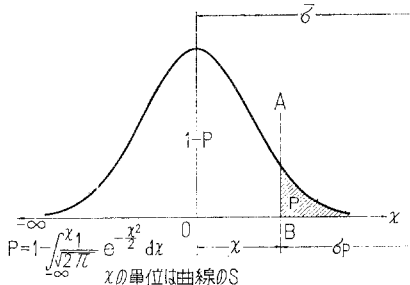
$\alpha_2$  = 第2条件による割増し係数

P = 不合格確率(図-3.7の斜線部の面積)

x = 正規分布曲線の原点0から限界強度までの距離(図-3.7参照)

Pに対するxおよび $x/\sqrt{5}$ の値は表-3.12に示してある。

図-3.7 正規分布曲線



示方書の条件により  $P=1/20$  とおくと,表-3.12より  $x=1.645$  となるから,製造せんとするコンクリートの圧縮強度の変動係数 V を予想すれば  $\alpha_1, \alpha_2$ , すなわち  $\bar{\sigma}$  は定まる。

(6) 式において,示方書の第1,第2条件を同時に満足する変動係数  $V_e$  (以下規格変動係数という単位%) を  $\alpha_1 = \alpha_2$  とおいて求めると

$$\frac{V_e}{100} = \frac{0.3115}{x} \quad \frac{V_e}{100} x = 0.3115 \dots\dots\dots (7)$$

となり,またこのときの割増し係数  $\alpha_0$  (以下規格割増し係数という)は

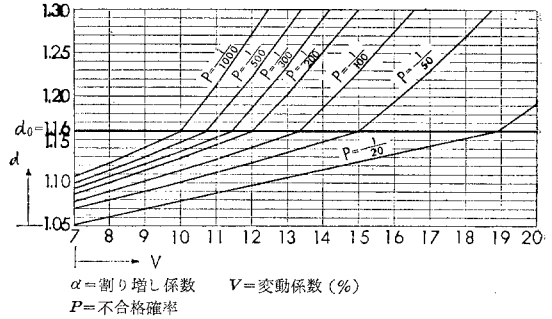
$$\alpha_0 = 1.16 \dots\dots\dots (8)$$

となって,不合格確率に関係なく定数である。またいろいろの不合格確率に対する規格変動係数  $V_e$  を求めると表-3.12のとおりとなる。

表-3.12 不合格確率に対する、 $x, x/\sqrt{5}$ , 規格変動係数  $V_e$  (%) の値 ( $K=0.8$  の場合)

確 率	$x$	$\frac{x}{\sqrt{5}} = 0.4472 x$	$V_e$ (%)
1/20=0.05	1.645	0.736	18.9
1/40=0.025	1.960	0.877	15.9
1/50=0.02	2.054	0.919	15.2
1/60=0.0167	2.128	0.952	14.6
1/80=0.0125	2.242	1.003	13.9
1/100=0.01	2.326	1.040	13.4
1/150=0.00667	2.475	1.107	12.6
1/200=0.005	2.575	1.152	12.1
1/250=0.004	2.652	1.186	11.7
1/300=0.00333	2.713	1.213	11.5
1/500=0.002	2.878	1.287	10.8
1/1000=0.001	3.090	1.382	10.1

図-3.8 割増し係数曲線



配合の変動係数(表-3.2, 表-3.7)は表-3.12の規格変動係数に類似しているの、これを各種配合に使用しうるものと想定したことによる。従って、割増し係数は(6)式の境界にあって、 $\alpha_1, \alpha_2$ に共通であり、一方に偏した調査結果とはならないはずである。

引き続きとった5個の試料の選定は次のとおりとした。所要強度 $[\sigma]$ 以下の試料とこれに連続している他の4個の試料の圧縮強度の平均値が最小になる組合せを選定した。このようにして調査した結果は表-3.13のとおりとなった。これを集約すると次のようになる。

㊸ 所要強度の80%以下になったものは3132試料中3個にすぎない。この3個も限界強度と2kg/cm<sup>2</sup>の差のもの1個、1kg/cm<sup>2</sup>の差のもの2個で、見方によっては無視しうる程度のものである。

所要強度の90%以下のものは40個ある。このうち31個は貧配合(単位セメント量または単位(C+F)160kg以下)の試料中にある。

㊹ 引き続きとった5個の試料の平均値が所要強度以下

次に(6)式の各種のPに対する $\alpha_1, \alpha_2$ の値を計算して割増し係数曲線をえがくと図-3.8のようになる。これより $\alpha_1, \alpha_2$ を求めることができる。 $\alpha_1$ と $\alpha_2$ の境界が $\alpha_0$ である。この図によると、現実の問題としては割増し係数は $\alpha_2$ によって定まる範囲が広い。というのは比較的完備したコンクリート製造設備を有する工事現場では、目標強度を所要強度の20%以上割増しすることはまれであるからである。すなわち、5個の試料の $\bar{\sigma}_{01}$ が不合格になることが多いということであって、個々の試料の $\sigma_{01}$ が不合格になることは少ない。

b) 不合格確率の実績 佐久間、奥只見の試料について不合格確率の実績を調査した。この調査では、佐久間の試料は材令91日、奥只見の試料は材令365日の圧縮強度を対象とした。I種からV種まで共通に規格割増し係数(1.16)を用いた。これは、I種からV種までの不合格確率が1/200~1/50程度と推定すると、これら各種

表-3.13 不合格確率の実績

ダム名	配合種別	試料数	所要強度 [ $\sigma$ ]	目標強度 1.16 [ $\sigma$ ]	実強度	5個の試料強度の平均値が[ $\sigma$ ]以下		1個の試料の強度が0.8 [ $\sigma$ ]以下		1個の試料の強度が0.9 [ $\sigma$ ]以下の回数
						回数	確率	回数	確率	
佐久間	I	128	350	406	409	350以下		280以下		315以下
						0		0		1
	II	884	310	360	369	310以下		248以下		279以下
						4	1/221	0		4
								(258)		
佐久間	III	500	260	302	304	260以下		208以下		234以下
						4	1/125	0		0
								(234)		
	IV	195	220	255	257	220以下		176以下		198以下
						1	1/195	0		2
佐久間								(192)		
	V	435	200	232	239	200以下		160以下		180以下
						4	1/108.8	0		10
								(169)		
								0		2
奥只見	II	100	330	383	386	330以下		264以下		297以下
						0		2	1/50	2
								(262)		
	IV	450	255	296	298	255以下		204以下		229.5以下
						2	1/225	0		8
奥只見								(223)		
	V	440	200	232	233	200以下		160以下		180以下
						5	1/88	1		13
							(159)	1/440		

(注) 1. 材令は佐久間91日、奥只見365日  
 2. 実強度は表-3.1, 表-3.6にある総平均値。  
 3. 右から3列目の括弧内の数字は試料中の最小圧縮強度。  
 4. 佐久間の試料の内付表-2の黒星にて示されるセメントの影響あるものは除いてある。  
 5. 目標強度および所要強度は実強度を100%利用するものとして仮りに定めたものである。

になったものの回数も少なく、奥只見の貧配合コンクリート(単位(C+F) 140 kg)を除いて、不合格確率は1/100~1/200程度である。佐久間のI種は富配合で、5個の試料の平均値の最小値は380 kg/cm<sup>2</sup>となっていて、所要強度をはるかに上まわっている。このことは富配合のコンクリートの不合格確率は非常に小であるといえる。5個の試料の圧縮強度の平均値が所要強度を下まわったものは、5個のうち3個以上が所要強度以下のときに限られている。

㉔ この調査は規格割増し係数 1.16 を用いて目標強度を定めたので、目標強度が過大であったともいえるが現実の問題としては、変動係数小なるときは、小なる不合格確率を要求される場合であり、変動係数大なるときは大なる不合格確率でよいときである。この一般論からみれば(図-3.8参照)、割増し係数は原則として、規格割増し係数に近いものである。したがって、上記の調査は規格割増し係数の影響を受けているとはみられない。

c) 不合格確率と割増し係数 以上の調査から次のことを推論することができる。

㉕ 個々の試料の限界強度が所要強度の80%ということは目標強度(所要強度の1.16倍のとき)の0.8/1.16≒0.7, 70%ということになって低すぎる。重力ダムにおいて上記のとおりであるから、アーチダムにおいて細骨材の表面水の排除など施工設備を一段と入念にし、富配合コンクリートを使用するならば、この限界強度を所要強度の90%、目標強度の80%まで容易に引き上げうることは表-3.13によっても明らかである。このことは不合格確率をより小さく選定することによって実現できる。

㉖ 現在の、骨材生産、コンクリート製造、打ち込み設備、締固め、養生法を用いる限り、不合格確率は特別の貧配合のコンクリートでない限り1/100より大とはならない。アーチダムにおいて圧縮強度の不合格確率が1/300~1/500にもなりうることは、表-3.13における佐久間I種、奥只見II種より推定しうることである。

従って、次表程度の不合格確率でコンクリートを製造することは実行可能であろう。

表-3.14 実行可能な不合格確率

ダム種別	配合種別	不合格確率
重力ダム	富配合	1/100 ~ 1/200
	貧配合	1/50 ~ 1/100
アーチダム	富配合	1/100 ~ 1/300

(注) 富配合とは単位セメント量 200 kg 以上

㉗ (2)のb)以下に述べてきたように、変動係数は一般の予想より小さい。このことは変動係数の範囲が小さい方に広がったことになる。また不合格確率の実行可能な範囲も広がった。すなわち、図-3.8において利

用される曲線の数が増加したことになる。変動係数、不合格確率が小になったからといって、これを必ず使用しなければならないというのではない。それぞれの構造に適した値より小なるものであれば、自由に選択できる。

すなわち、割増し係数選定の範囲が広くなり、施工設備と、割増し係数とを組合わせて、経済的コンクリートを製造するに考慮の余地が広がったといえる。

### (5) ダムの形式に対応するコンクリートの品質管理係数

ダムの形式、高さ、天然骨材の自然の粒度などにより骨材の生産から、コンクリートの養生にいたるまでの施工設備は当然異なってくるし、コンクリートの示方配合もまた違ったものとなる。以下述べようとする管理係数は直接施工設備、示方配合に関連するものであるから、これらはダムの形式、高さまたは骨材事情に適したものであるとの前提に立つものである。

ここではコンクリートダムの中でコンクリートの品質管理が最もきびしいアーチダムとこれと全く反対の立場にある重力ダムのコンクリートの品質管理係数に対する考え方を述べてみたい。

現場における調査統計としては、各月別の試料数を基準として計算したもので十分である(2)のb)参照)各月の試料数が多くとも、短期間の試料であるから、管理係数に大なる影響はない。

a) 重力ダム 高さが100 mを越え、最大所要強度がせん断抵抗によって定まる場合は、三次元計算が応用できる構造とすれば、せん断抵抗力を増加せしめうるので重力ダムの所要強度は一般的に低い。前記3つのダムのごとく、高さ150 m級のものでも、その最大所要強度は200 kg/cm<sup>2</sup>内外である。

また高さが60~70 m以下のダムにおいては3の(3)(d)に述べたように単位(C+F) 140 kgの貧配合コンクリートでも、その圧縮強度は目標強度の2倍以上に達する。これに加えて、最大圧縮応力が発生するダムの上下流面2~3 m程度の厚さは、強度に無関係に、水密、まもう、凍結などの対策として、単位セメント量200 kg以上のコンクリートが使用されるので、貧配合コンクリートの受けもつ応力はさらに低くなる。

またセメントの水和熱の問題も重要な課題であるから、単位セメント量はできるだけ少ないことが望ましい。

㉘ これらの事実から、重力ダムの中詰コンクリートは、単位セメント量180 kg以下のコンクリートであることが望ましい。高さが150 mを越えても、単位セメント量が200 kgを越えることはまずあるまい。

次に重力ダムはその高さに比して、片持ばりとしての断面積が非常に大であって、このぐらい大きな断面をもつ構造物は他にみられない。この大きな断面の一端に最

大応力が発生するとき、他端の応力は0に近いので、ダム内部の中詰コンクリートの受ける応力はその最大値のなかば程度である。この応力状態の中で断面の一部に弱いコンクリートが打ち込まれても、この弱いコンクリートの受け持つ応力は周辺の大量のコンクリートに吸収されて、一カ所に応力が集中するおそれはまずない。さらに前記3つのダムのごとく1日3000~4000m<sup>3</sup>のコンクリートを打ち込むことになると、コンクリートの製造は中断されることなく、運転員の交替もハンドバイハンドといわれるくらいで、工事の速度が金利との競争であってみれば、管理面でブレーキをかけるくらいなら単位セメント量を増加した方が経済的ともなりかねない。

⑥ 従って、コンクリートの変動係数をあまりきびしくする必要もないし、またできないこともある。結果は不合格確率も大きなものとなる。

しかしコンクリートの品質管理には全く無関係に、膨大な骨材の生産、コンクリート製造のために、経済的観点に立って、前記3つのダムのように完備した施工設備をなすことが多い。この場合には、工事にブレーキをかけない程度に変動係数を小にして、単位セメント量の節約を計ることはもちろんである。

⑦ 次に構造物の主要部分においては、いずれの箇所にも弱点があることは許されないから、予想される最悪の条件にもとづいて、品質管理係数を推定することは一般通念である。このことはアーチダムの場合も同様である。

以上の考え方と、これまで述べてきた3つのダムの管理実績を基礎にして、重力ダムのコンクリート品質管理係数を推定すると次表のようなものとなる。

表-3.15 重力ダムのコンクリートの品質管理係数

配合種別 (単位セメント量 (kg))	変動係数 %	不合格確率	割増し係数
180 ~ 200	13-15	1/50 ~ 1/100	1.16 以下
140 ~ 180	14-18	1/20 ~ 1/50	1.16 以下

b) アーチダム 一般にダムの高さが60~70mを越えると所要強度は300kg/cm<sup>2</sup>を、高さが100mを越えると400kg/cm<sup>2</sup>を、さらに高さが200m近くなると、500kg/cm<sup>2</sup>を越える。

⑧ これがためコンクリートが富配合となることは当然であるが、目標強度を定める割増し係数はできるだけ小であることが望ましい。コンクリート製造技術の面からも、セメントの水和熱の面からも単位セメント量はすくなくすることが望ましい。

次にアーチダムの堤体の厚さは、そのスパンに比して非常に薄く、橋梁の桁高とスパンとの比より小さいくらいである。厚さの絶対値の寸法が大であるのと広大な溪谷に直立しているため、厚さとスパンとを一見することはできない場合が多いが、このくらい繊細な構造物は

他にみられない。

この薄い無筋コンクリートの一部に弱いコンクリートがあればその周辺のコンクリートに、強いコンクリートがあればそれ自体に、応力が集中して、前記の強大な力はさらに増大する。

⑨ 従って、コンクリートの圧縮強度の変動係数はきわめて小さいことが望まれる。結果は不合格確率もまた小となる。

富配合コンクリートの管理係数について前記佐久間、奥只見の例を示すと表-3.16のとおりとなる。

表-3.16 富配合コンクリートの組別標準偏差とその変動係数

ダム名	配合種別	単位セメント量 kg	1組の試料数	組数	圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>	標準偏差	変動係数 %
佐久間	I	240	50	1	424	33.22	7.8
		〃	50	1	404	37.85	9.4
		〃	28	1	392	41.77	10.7
	総合	128	1	409	39.34	9.6	
奥只見	II	220	50	19	368	39.24	10.7
	III	200	50	12	305	34.13	11.2
	I	220	15	1	422	32.31	7.7
奥只見	II	200	50	1	393	37.70	9.6
		200	50	1	379	46.06	12.2
		平均	50	2	386	41.88	10.9

- (注) 1. 佐久間I, 奥只見I, II種は試料数が少ないので付表-2.3に記入していない。  
2. 佐久間Iは組の試料数が同一でないから平均値の代りに全試料を一組とした総合の変動係数標準偏差を記入した。  
3. 材令は佐久間91日, 奥只見365日である。  
4. 奥只見の単位セメント量は単位(C+F)である。

上表の富配合コンクリートはいずれも試料数が少なく、信頼度が低いために前に記載しなかった。前の説明資料とした佐久間II, III種は試料数も多く信頼度も高い。このII, III種と、これより単位セメント量の多いI種を比較するならば、富配合ほど変動係数は小であるとの原則に従って、I種の変動係数は11~12%程度が最大であると推定される。表-3.13によると不合格確率は1/200より小と考えられる。

また上表の佐久間II, III種の値は平均値であって、最大値ではない。しかしアーチダムの場合、再三述べたように細骨材の表面水の排除に万全を期するならば、変動係数の最大値は表-3.16の平均値に近いものとなる。

従って、不合格確率も1/100より小なるものと推定される。

これらの考え方に図-3.8を組合わせてアーチダムの管理係数を求めると表-3.17のごとくなる。

アーチダムには厚さの非常に薄いものと、そうでないものがあるので、次表では厚さの大小によってコンクリートの品質を加減した。

表-3.17中の変動係数10%は表-3.16を見ると、

表-3.17 アーチ ダムのコンクリートの品質管理係数

配合種別 (単位セメント量) kg	変動係数		不合格確率				割増し係数	
	$\frac{T}{H} \approx \frac{1}{10}$	$\frac{T}{H} \approx \frac{1}{5}$	$\frac{T}{H} \approx \frac{1}{10}$	$\frac{T}{H} \approx \frac{1}{5}$	$\frac{T}{H} \approx \frac{1}{10}$	$\frac{T}{H} \approx \frac{1}{5}$	$\frac{T}{H} \approx \frac{1}{10}$	$\frac{T}{H} \approx \frac{1}{5}$
240 以上	10~11	11~12	$\frac{1}{200} \sim \frac{1}{300}$	$\frac{1}{100} \sim \frac{1}{200}$	1.14 ~1.15	1.14 ~1.16		
200 ~ 240	12~13	12~14	$\frac{1}{100} \sim \frac{1}{200}$	$\frac{1}{50} \sim \frac{1}{100}$	1.14 ~1.15	1.14 ~1.16		

(注) H=ダムの高さ  $\frac{T}{H} \approx \frac{1}{5} = \frac{T}{H}$  が  $\frac{1}{5}$  前後  
T=ダム最低部の厚さ

施工設備が完備していれば、実施可能のように見えるが、表-3.17 の値は変動係数の最大値を示したものであるから、長期にわたって、10% 以下を維持することはむずかしい。常時変動係数7~8%を続けていても悪いときには10%を超える。変動係数10% 以下を続けるには、施工設備の系統中に人の判断による部分が一カ所でもあるといつかこの均衡はやぶれる。

不合格確率を小にするため、割増し係数はおのずから高くなる。

#### 4. あとがき

ダムのコンクリートの品質は、その所要強度が500 kg/cm<sup>2</sup> から100 kg/cm<sup>2</sup> 未満まで……コンクリートの最高級から最低級の品質まで……実に千差万別である。かかる現実の中にあって、

㊸ 構造力学の要請に答えて、最も低廉な、等質のコンクリートの製造を指導すること、これが品質管理直接の主眼点である。

㊹ 品質千差万別のコンクリート管理実績にもとづいて、要求されるコンクリートの品質と、現地産材料事情とを織り混ぜ、最適の製造設備の判断をなすこと、これ

が品質管理間接の主眼点である。

単に良質のコンクリートを製造すること、それはわれわれ技術者の品質管理の目的ではない。技術者である以上われわれは常に経済の範疇の中にある。従って、上記2つの問題は過去の管理実績による管理係数にもとづかない限り、構造力学の要請する最低線を守ることも、施工設備の規模を適切に判断することも不可能である。

著者はここに著者の経験した管理係数の実績にもとづき、骨材については粗骨材フルイ分けの欠陥がフルイ分け設備にあることを指摘し、これが改善策を提案し、粗骨材フルイ分け精度の向上と、フルイ分け設備改良の一指針とした。また細骨材の粒度調整用のハイドロリックサイザー運用の限界に対する著者の見解を述べ、これら設備選定の一資料としたつもりである。コンクリートについては、1、2の理論を発表した。たとえばコンクリート品質の直接管理のためには、材令28日のコンクリートの圧縮強度の変動係数にもとづき、材令91日の変動係数を推定し、もしこの推定値が予想の変動係数より悪ければ、直ちに、その後のコンクリートの製造に改善を加え、早期に製造中のコンクリートの品質を向上せしめんとするにある。また間接管理のためには、管理係数の実績を列挙し、これにもとづいて、重力ダム、アーチダムの管理係数に対する著者の見解を明らかにした。

しかしながら、本文の実績は単に著者の経験したもののみであって、現下わが国で施工されたもの、または施工中の多くのダム工事の実績に比すれば九牛の一毛にすぎない。従って多数のありのままの管理係数の実績を技術者諸氏が競って発表され、著者発表の実績を更新されることを、著者は期待してやまない。

(原稿受付: 1962.3.6)

付表-1 ダム コンクリートの示方配合

ダム名	配合種別	スランブ	空気量	水	セメント	フライアッシュ	水セメント比	粗骨材					計
		cm	%	kg	kg	kg	%	細骨材	150-80	80-40	40-20	20-5	
佐久間	I	2-3	2.5-3.5	105.5	240	0	44	454	525	426	328	361	1640
	II			103.5	220		47	480	524	425	327	360	1636
	III		3.5-4.5	103.0	200		51.5	490	520	422	326	357	1625
	IV			103.0	180		57	504	521	423	325	358	1627
	V			104.0	160		65	507	524	426	327	360	1637
田子倉	220-25	3-5	3-	92	165	55	42	410	547	462	342	359	1710
	200-25			89	150	50	45	415	554	467	346	364	1731
	180-25			87	135	45	48	440	554	467	346	364	1731
	160-25			86	120	40	54	466	551	466	346	362	1725
	140-25			86	105	35	61	463	549	463	343	360	1715
奥只見	I	2.5±1	3.5±0.5	100	161	69	43	480	455	420	355	390	1620
	II			99	147	63	47	485	460	425	360	395	1640
	III			99	126	54	55	510	460	425	360	395	1640
	IV			98	112	48	61	518	465	430	365	400	1660
	V			95	98	42	70	525	470	435	370	400	1675

本表中の単位はkg/m<sup>3</sup>のコンクリート1m<sup>3</sup>当りの使用量である



付表-2 佐久間ダムのコンクリートの組別試料による品質管理係数計算値

種別	組番号	$\bar{g}_{91}$	$\bar{g}_{28}$	K	S <sub>28</sub>	S <sub>91</sub>	X	Y	V <sub>28%</sub>	V <sub>91</sub>
II	1	288	403	1.40	30.09	32.90	0.97	0.69	11.8	8.2
	2	311	396	1.27	42.81	44.51	1.04	0.82	13.8	11.2
	3	281	363	1.29	40.87	45.73	1.12	0.87	14.5	12.6
	4	301	377	1.25	34.08	37.84	1.11	0.87	11.3	10.0
	5	284	363	1.28	35.72	30.72	0.86	0.67	12.6	8.5
	6	280	358	1.28	36.61	46.05	1.26	0.98	13.1	12.9
	7	281	351	1.25	36.20	44.63	1.23	0.98	12.9	12.7
	8	244	308	1.26	38.45	30.97	0.81	0.64	5.8	10.1
	9	238	306	1.29	33.55	31.05	0.92	0.71	14.1	10.2
	10	274	359	1.31	33.87	45.33	1.34	1.02	12.4	12.6
	11	279	379	1.36	39.87	51.28	1.24	0.95	14.3	13.5
	12	280	371	1.53	38.11	45.79	1.20	0.90	13.6	12.3
	13	261	394	1.51	35.37	39.62	1.12	0.74	13.6	10.1
	14	273	382	1.40	39.25	40.66	1.04	0.74	14.4	10.6
	15	296	410	1.39	36.14	35.57	0.78	0.71	12.2	8.7
	16	297	386	1.30	34.29	34.02	0.99	0.76	11.6	8.8
	17	278	364	1.31	32.45	35.81	1.04	0.80	11.7	9.8
	18	279	357	1.28	33.50	31.15	0.93	0.73	12.0	8.7
	19	283	373	1.38	40.52	41.85	1.03	0.75	14.3	11.2
平均値	279	368	1.32	36.62	39.24	1.07	0.81	13.2	10.7	
III	1	252	328	1.30	30.92	28.74	0.93	0.72	12.3	8.8
	2	244	326	1.34	26.95	26.41	0.98	0.73	11.1	8.1
	3	207	295	1.43	41.65	41.00	0.98	0.69	20.1	13.9
	4	227	302	1.33	39.67	40.68	1.03	0.77	17.5	13.5
	5	224	302	1.35	31.39	38.90	1.24	0.92	14.0	12.9
	6	244	325	1.33	41.19	40.36	1.15	0.86	16.9	14.6
	7	249	321	1.29	32.18	37.04	1.15	0.89	12.9	11.6
	8	251	321	1.28	27.88	34.12	1.22	0.95	11.1	10.6
	9	246	306	1.24	27.09	27.90	1.03	0.83	11.0	9.1
	10	227	292	1.29	33.87	37.32	1.10	0.85	14.9	12.8
	11	226	284	1.26	32.28	30.33	0.94	0.75	14.3	10.7
	12	207	261	1.26	26.82	19.66	0.73	0.58	13.0	7.5
	平均値	234	305	1.31	32.66	34.13	1.04	0.80	14.1	11.2
IV	1	196	250	1.29	27.65	28.89	1.05	0.82	14.1	11.6
	2	186	237	1.27	23.80	21.09	0.89	0.70	12.8	8.8
	3	191	266	1.39	30.32	35.76	1.18	0.85	15.8	13.4
	4	199	270	1.36	30.34	36.57	1.21	0.89	15.3	13.5
	5	183	264	1.44	30.45	42.59	1.40	0.97	16.6	16.1
	平均値	191	257	1.35	28.49	32.98	1.15	0.85	14.9	12.7
V	1	147	200	1.36	25.73	27.38	1.06	0.78	17.5	13.7
	2	159	237	1.49	26.76	33.87	1.27	0.85	16.8	14.3
	3	154	241	1.57	31.13	32.19	1.19	0.76	20.2	15.4
	4	144	261	1.81	29.18	25.14	0.86	0.48	20.3	9.6
	5	153	255	1.67	23.49	37.96	1.62	0.97	15.4	14.9
	6	186	253	1.36	26.47	35.36	1.34	0.99	14.2	14.0
	7	187	264	1.42	27.74	29.80	1.07	0.75	14.8	11.3
	8	164	231	1.41	25.37	26.44	1.04	0.74	15.5	11.5
	9	145	205	1.41	19.81	25.56	1.29	0.91	13.7	12.5
	平均値	160	239	1.50	26.14	30.97	1.19	0.80	16.5	13.0

註 1 各組の試料数は50  
2  $K = \frac{\bar{g}_{91}}{\bar{g}_{28}}$      $X = \frac{S_{91}}{S_{28}}$      $Y = \frac{X}{K}$   
3 S=標準偏差    V=変動係数(%)  
4 下附文字は材令

付表-3 奥只見ダムのコンクリートの組別試料による品質管理係数計算値

種別	組番号	$\bar{g}_{28}$	$\bar{g}_{91}$	$\bar{g}_{365}$	k <sub>91</sub>	k <sub>365</sub>	S <sub>28</sub>	S <sub>91</sub>	S <sub>365</sub>	X <sub>91</sub>	X <sub>365</sub>	Y <sub>91</sub>	Y <sub>365</sub>	V <sub>28</sub>	V <sub>91</sub>	V <sub>365</sub>
IV	1	116	215	301	1.85	1.40	21.65	35.11	40.66	1.62	1.16	0.88	0.83	18.7	16.3	13.5
	2	108	204	292	1.89	1.43	16.72	25.80	31.58	1.54	1.22	0.81	0.85	15.5	12.3	10.8
	3	134	228	305	1.70	1.34	26.09	35.27	36.04	1.35	1.02	0.79	0.76	19.5	15.5	11.8
	4	142	224	298	1.58	1.33	25.55	34.93	39.63	1.37	1.13	0.87	0.85	18.0	15.6	13.3
	5	132	213	292	1.61	1.37	21.98	26.83	31.65	1.22	1.18	0.76	0.86	16.7	12.6	10.8
	6	129	219	306	1.70	1.40	23.89	32.62	40.87	1.37	1.25	0.81	0.89	18.5	14.9	13.4
	7	118	196	283	1.66	1.44	21.06	30.99	31.26	1.47	1.01	0.89	0.70	17.8	15.8	11.1
	8	124	204	296	1.65	1.45	18.02	30.67	31.26	1.70	1.01	1.03	0.70	14.5	15.1	10.6
	9	117	201	305	1.72	1.52	26.46	36.25	35.33	1.37	0.97	0.80	0.64	22.6	18.0	11.6
	平均値	124	212	298	1.71	1.41	22.38	32.05	35.36	1.45	1.11	0.85	0.83	18.0	15.1	11.9
V	1	94	156	247	1.66	1.58	18.04	28.82	31.78	1.60	1.10	0.96	0.70	19.2	18.5	12.9
	2	86	144	246	1.67	1.71	18.62	28.08	33.37	1.51	1.19	0.90	0.70	21.7	19.5	13.6
	3	86	136	232	1.58	1.71	17.27	21.89	28.37	1.27	1.30	0.80	0.76	20.1	16.1	12.2
	4	84	128	209	1.52	1.63	19.34	21.03	21.50	1.09	1.02	0.72	0.63	23.0	16.4	10.3
	5	95	148	234	1.56	1.58	20.72	26.93	31.95	1.30	1.19	0.83	0.75	21.8	18.2	13.7
	6	91	150	251	1.65	1.67	19.55	26.21	37.47	1.34	1.43	0.81	0.86	21.5	17.5	14.9
	7	70	135	225	1.93	1.67	15.68	23.74	28.09	1.51	1.18	0.78	0.71	22.4	17.6	12.5
	8	64	142	226	2.22	1.59	15.40	26.29	34.28	1.71	1.30	0.77	0.82	24.1	18.5	15.2
平均値	84	142	234	1.72	1.64	18.08	25.37	30.85	1.42	1.21	0.82	0.74	21.7	17.8	13.2	

(註) 各組の試料数は50  
k<sub>91</sub>, k<sub>365</sub>は夫々  $\frac{\bar{g}_{91}}{\bar{g}_{28}}$ ,  $\frac{\bar{g}_{365}}{\bar{g}_{91}}$   
Sは標準偏差  
X<sub>91</sub>, X<sub>365</sub>は夫々  $\frac{S_{91}}{S_{28}}$ ,  $\frac{S_{365}}{S_{91}}$   
Y<sub>91</sub>, Y<sub>365</sub>は夫々  $\frac{X_{91}}{k_{91}}$ ,  $\frac{X_{365}}{k_{365}}$   
Vは変動係数(%)  
下附文字は材令

## QUALITY CONTROL OF DAM CONCRETE

*By Dr. Eng., Susumu Nagata, C.E. Member*

Three gravity dams, each of 150-meter-high class with a concrete volume of 4,700,000 cubic-meters in all, were completed in the recent five years in Japan : 1,122,000 cu/m Sakuma Dam, 1,949,500 cu/m Tagokura Dam and 1,627,500 cu/m Okutadami Dam. Each of them was constructed of concrete quality different from each other : Sakuma Dam, of concrete using modified Portland cement exclusively, Okutadami Dam, of concrete using modified Portland cement but partly replaced by fly ash, and Tagokura Dam by using the two types of concrete stated above in order to meet the structural requirement.

The actual states of control factors were grasped on the basis of the actual results of the quality control of this extraordinarily voluminous concrete. The author hopes that the conclusive statement based on this study as mentioned below will contribute in the future to the improvement of the manufacturing processes and the quality control of concrete.

### 1. The Aggregates

#### (1) Coarse aggregates

As to coarse aggregates, Sakuma Dam and Tagokura Dam were constructed by using river-produced natural sands and gravels, and Okutadami Dam by using crushed rocks, after all of those aggregates having been classified into four sizes of 150-80 mm, 80-40 mm, 40-20 mm and 20-5 mm by means of screening plants of similar description.

The results of numbers of the above-stated screening into these four classes indicated that the accuracy of such classification was sufficiently high excepting the 40-20 mm classification, but that the accuracy in classifying 40-20 mm was discouragingly low and that this low accuracy brought about a substantial deterioration to the grading as such of the coarse aggregate for the concrete.

Similar deterioration in the grading of the coarse aggregate was found common to these, three dams, which indicated that both of these

20 mm and 40 mm standard sieves must have some sort of defect in them.

In view of it, the author proposes to enlarge the aperture size of both the 40 mm and 20 mm standard sieves and also to enlarge the total of areas of these sieves, so as to correct such defects.

#### (2) Fine aggregates

For the adjustment of grading of the fine aggregates, hydraulic sizers were employed in constructing Sakuma Dam with a remarkably satisfactory result. According to the continuous screening tests on 5560 test pieces taken at the batcher plant, the fineness modulus came out to be 2.71 at the maximum and 2.55 at the minimum, the average being 2.631. This remarkable uniformity in the fineness modulus attributable chiefly to the facts that the grading of the river-produced natural sand was so fairly uniform and the amount of valuable sand was so ample that the sand found unusable according to the result of screening could be discarded freely.

It once happened that the uniformity in the grading of the sand was lost, because the aggregate pit was once shifted from one to another and, as a result of it, the sizer lost its proper faculty. In consideration of it, the scope of the application of the sizer has been treated to some extent.

The crushed rocks used as aggregate for Okutadami Dam has been left out of the treatment in this paper, for its treatment had already been published by Mr. S. Mimura, Project Manager of Okutadami Power Project.

### 2. Quality of Concrete

The following conclusions have been drawn from the results of compressive strength tests applied to the test pieces taken from the concretes of the above mentioned three dams :

(1) The relationship between the control factors (rate of increase of compressive strength, coefficient of variation of compressive strength, standard deviation, probability of errors)

of the 91-day-age concrete and those of the 365-day-age concrete, both of which concrete partly using fly ash as one of the constituents, is analogous to the relationship between the control factors of the 28-day-age concrete and those of the 91-day-age concrete, both of which concrete not using fly ash as the constituent. This indicates that the control of quality of concrete using fly ash as its constituent shall have to be based on the compressive strength of the 365-day-age one.

(2) According to the results of construction work for completing these three dams, where most modern and superior construction equipment and processes were employed, the controlling factors mentioned above have been found to be quite satisfactory; for instance, at Sakuma Dam, where the 220 kg of cement was used for a cubic meter of concrete, the compressive strength of the concrete was found to be 369 kg/sq.cm, the coefficient of variation 12.7% (total number of test pieces 984) and that of 19 groups of test pieces (each group consisting of 50 test pieces) 10.7% on the average, the probability of errors 1/220.

(3) A study on the variation of the rate of increase of the compressive strength on a number of groups each consisting of 50 test pieces has revealed that the rate of increase is almost constant as predicted by the theory. Based on this observation, the relationship between the variation coefficient of compressive strength of a 28-day-age concrete and that of a 91-day-age one is shown by the formula below:

$$Y = \frac{l}{k} X$$

$$Y = \frac{V_{91}}{V_{28}}, \quad X = \frac{S_{91}}{S_{28}}, \quad k = \frac{\bar{\sigma}_{91}}{\bar{\sigma}_{28}}$$

where  $V_{28}, V_{91}$  = Coefficients of variation of compressive strengths of 28-day-age concrete and 91-day-age concrete respectively.

$S_{28}, S_{91}$  = Standard deviations of compressive strengths of 28-day-age concrete and 91-day-age concrete respectively.

$\bar{\sigma}_{28}, \bar{\sigma}_{91}$  = Average values of compressive strengths of 28-day-age concrete and 91-day-age concrete respectively.

Of the above formulas, the value of  $k$  may be determined in accordance with the result of investigation previous to the construction work, and the value of  $Y$  is known when the value of  $X$  is given. The value of  $X$ , while being affected by the aggregate available at the site and by the construction equipment and processes employed, is affected chiefly by the unit amount of cement used. Judging from the actual results of constructing these three dams, the value of  $X$  has been estimated to be between 1.1 and 1.2. The maximum value of  $X$  is to become equal to the value of  $k$  (=1.3-1.4) according to the theory. But, as  $X < k$ , the value of  $X$  estimated above is believed to be not far from its true value.

When the value of  $X$  is given, the coefficient of variation of 91-day-age concrete,  $V_{91}$ , is determined from the coefficient of variation of 28-day-age concrete by the formula:

$$V_{91} = \frac{X}{k} V_{28}$$

The above is to provide unfailing quality control of dam concrete by estimating the 91-day-age variation coefficient based on the 28-day-age variation coefficient.

(4) The above is to contribute certain data to the future improvement of quality control of concrete to be used for constructing dams, by referring to the practical values of control factors concerning gravity dams and arch dams, based on the actual results stated in 2-(2) above.