

土木研究所資料

第1081号

フィルセメントとダム(2)

昭和51年1月

建設省土木研究所

フィルセメントとダム(2)

ダム構造研究室 柴田 功
高樋 堅太郎

まえがき

建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室では、旧来のダムコンクリートとフィルダム材料との特性を合わせもつフィルセメントについての研究を、目下盛んに行なっている。ここに掲載する各論文は、ダム構造研究室が現在入手しているフィルセメントの新しい研究の報告に関して、とくに興味深いと思われるものをとりあげたものである。

資料(1)「振動ローラーによるマスコンクリートの締固め」(邦訳)は、ACI J/10 - 1974に掲載された論文を日本大学の関慎吾教授を通じて入手し、当研究室で邦訳したものである。

資料(2)「ロストクリークダムにおけるローラ転圧コンクリート試験」(邦訳)は、米国陸軍工兵隊ポートランド事務所が1974年6月に発行した論文を国土開発技術センターで邦訳し、当研究室で一部修正したものである。なお、この原著書は土木研究所ダム部長の飯田が、1974年9月～11月の米国および欧州出張の際入手したものである。

資料(3)「ノースランブコンクリートのマスコンクリート施工における可能性の研究」(邦訳)は、米国陸軍工兵隊水路研究所が1973年10月に発行した論文を当研究室で邦訳したもので、原著書は当研究室の高樋が1975年10～11月の米国出張の際入手したものである。

資料(4)「アメリカにおける貧配合コンクリートダム計画」は、米国陸軍工兵隊が現在計画している新しい工法のダムについて、飯田の示唆に基づき高樋が現地で見聞した事項についてまとめたものである。

ノースランブコンクリートの研究は、その材料面からの取組または施工面からの取組などについて、米国を中心として英国などでも精力的にすすめられているようである。

当研究室では、これらの研究について積極的に情報を入手し、それらについて検討を行なうとともに、今後ともひろく紹介する機会をもつつもりである。このことについて、関係各位の協力を得ることができれば深甚の幸せである。

(資料1)

振動ローラーによるマスコンクリートの締固め

F. W. Cannon

ACI Journal/10, 1974

振動ローラーによるマスコンクリートの締固め

TVA の Tims Ford Dam では、200万 yd^3 (150万 m^3) のフィル材料を締固めるために15 ton の自走式振動ローラー1台を使用した。岩石の運搬、敷き広げ、締固めなどに用いた費用は、\$ 0.5/ yd^3 (200円/ m^3) である。24 in (60 cm) の岩石の層をこのローラーで締固める光景は印象的である。というのは低スランブのコンクリートは、トラックからおろしたばかりだと岩石だけのものと見たところほとんど変わらず、筆者にとって締固められたフィル材料がひとつのかたちをとるには、岩石間の空間の十分な細粒材料が必要条件と思うからである。その結果、このローラーを用いてフィル材料を締固めたのと同じ技術で12 yd (11 m) の零スランブコンクリートをうまく締固められるかどうかを検討するために実験を行なった。

初期実験

この試験においては、TVA の Tellico Dam で用いた最大骨材3 in (7.6 cm) の配合を零スランブにするために粗骨材の容積を1 ft^3 (0.03 m^3) 増やし、それに相当するモルタル分を減らした配合のものを用いた。最初の4 yd (3.6 m) のバッチは零スランブではあったが多少軟らかいようであったため、次の4 yd (3 m) のバッチは、水量を多少減らした。各バッチはフロントエンドローダーで14×16 ft (4.2×4.8 m) の範囲に上げたが、その場合バッチは前のバッチのひろげた上に載せた。ローラーを運転する作業員の話によると、コンクリートを締固める際、普通の振動数と低速でローラーを運転すると、20 in (50 cm) 厚のコンクリート層の底部にある比較的軟らかいコンクリートを押しのけ、それによってローラーが穴をあけるという事態があった。このため最初のでん圧では、振動を与えずに行ない、2番目のでん圧では最大の振動と高速で行なった。この方法では別に困難はなかったので、次の2回のでん圧は、普通の速度と振動で行なった。

試験結果と観察

この最初の実験は、零スランブコンクリートをロックフィル法によって困難なく打込むことができることを明らかに示している。コンクリートの現場密度と現場強度を測定するために6 in (15 cm) のコアを11ヶ採取した。密度は153.6~157.4 pcf (2.46~2.52 t/m^3) の範囲であり、空気量なしの場合の理論値160 pcf (2.56 t/m^3) と比較すると、良好な結果である。連行空気の測定は行なわなかったが、この比較的水分の少ないコンクリートは空気を連行していないようであった。コアの材令37日圧縮強度は1760 psi (124 kg/cm^2) であり、この零スランブコンクリートの配合の基礎とした Tellico Dam で用いた配合の同材令における供試体強度の平

均値よりも 350 psi (2.5 kg/cm²) 高い。

コアの強度と密度は予想以上のものであったが、いくつかのコアには蜂の巣状の空隙が見られ、この零スランブのコンクリートは、モルタル量が不足しているようであった。そこで試験打込みに用いる零スランブのコンクリートとしては、租骨材と細骨材を $\frac{1}{2} \text{ ft}^3$ (0.014 m³) だけ置換えたものとした。試験打込みに使用した配合は以下の通りである。

ポルトランドセメント	94 lb	56 kg/m ³
フライアッシュ	130	77
水	130	77
3~1½ in 碎石 (硬岩)	1280	760
1½~¾ in "	840	499
¾~# 4 "	660	178
細骨材	1025	605
減水材	13 oz	0.48
A E 材	16 oz	0.59

試験打込みの目的

計画した試験打込みから、建設に関する多くのことを知ろうとした。例えば、密度は敷ならし、締固める層の厚さの違いによってどの程度影響されるかを知ろうとした。また、意識的に設けたコールドジョイントの強度、水密性の点からの影響について試験し、上流面、下流面処理のための2つの試験を計画した。基礎との付着を調べるため岩盤上に試験打込みを行なったが、その際後日コアを採取したり、風化に対する耐久性を調べることを考慮して、近づき易い場所を考慮した。

試験場所

Tims Ford Dam の現場は必要な機器全てがそろっている唯一の場所であった。将来近付きうる岩盤上の唯一の地点は、余水吐放水路の掘削場所であった。水理的配慮から、試験打込みの場所を余水吐シュートの基礎にすることを余儀なくされた。この場所は、理想からはほど遠いものであった。機械の走行が著るしく妨げられており、機械はしばしば打込み面の上を泥だらけにした。加うるにこの位置の岩盤は、南西の角が浸透水に浸されており、水を完全に排除することはできなかったため、最初の1バッチは水中に打つことを余儀なくされた。余水吐の西端終端部分への進入路の位置は、余水吐の建設作業によるほこりやよごれの生ずる原因となった。これらの悪条件にもかかわらず、打込みは行なわれ、重要な意味を持つ実験結果が得られた。

試験用打込み

試験打込みは、高さ4 ft (1.2 m) 幅16 ft (4.9 m) 長さ32 ft (9.8 m) のものである。そのうち半分を1日で打込み、残りの半分は2日にわけて打込んだ。リフト間のコールドジョイントは、養生や処理を行っていない。ダンプトラックで零スランブコンクリートを運搬し、フロントエンドローダーで敷ならした。最初の層は岩盤より6 in (15 cm) の厚さに打込み、次の層は厚さ18 in (46 cm) とした。2リフト目は12 in (30 cm) 厚さの2層打ちとした。各4 yd³ (3 m³) バッチのコンクリートを沈積するようにして拡げたが、その際フロントエンドローダーの鋼製踏板は、ローダーがコンクリートの上を前後する過程でコンクリートを締固めるのに補助的な役割をした。各層を完全に拡げたのちローラーを用いた。ローラーの走行は西端にある進入路によって著るしく妨げられ、そこではローラーは最初の一行程を引張ったのちにはコンクリートを後退で転圧しなければならなかった。振動ローラーで締固める際の著るしい特徴は、ローラーの前方で出される圧力波である。ローラーを後退させる場合の方向の変化は、逆の圧力波の原因となり、前に締固められたコンクリートの上部を他の方向へ移動させる原因となった。予備実験や後進による締固めの前では、コンクリートはローラーに付着していなかったため表面上のこの浮上り現象は、コンクリートがローラー表面に付着したことが主な原因と考えられる。ローラー上に付着したモルタルは表面を粗な面とし、fillの上を泥でよごす原因にもなっていたであろう。ローラーには、モルタルを取り除くような装置はついていない。

最初の日のコンクリートは、明らかに零スランブのものであったが、打ち込み、敷きならし、ローラーを用いての締固めに際して何も困難なことはなかった。しかし上流側の型わくのそばの零スランブコンクリートを内部振動機で振動させてもプラスチックな性状を示さないため締固めることはできなかった。無理に振動機をコンクリート中に入れても、振動機を抜くと、振動機の寸法の孔ができるだけであった。粘土の盛立てを締固める場合に使用する機械的タンバーを試験打込みの下流表面を締固めるために用いたが効果はなかった。このような方法で下流表面の締固めに効果を上げるためには、もっと重いタンバーが必要であろう。

次の日には、単位水量を増加した場合の打込み作業に与える影響を検討するためにコンクリートの単位水量を増加した。コンクリートが零スランブと云い得る範囲では単位水量を多くしても何ら困難はなかった。しかし最後に打込まれた5バッチのうち3バッチは、スランブが約1 in (2.5 cm) であり、このコンクリートの場合には、打込み条件にかなり影響を与えた。まず最初に、フロントエンドローダーの鋼製踏板で軽く締固める場合にも状態はかなり異なっていた。零スランブコンクリートの場合には踏板で締固めることができるが、このコンクリートは、ほとんど締固めることはできず横方向に移動してしまった。したがって、てん圧中に振動ローラーに軟かいコンクリートがくつつき、フロントエンドローダーで表面をなおす必要があった。それからフロ

ントエンドローラーの表面をきれいにしなければならなかった。その後振動を加えずに、2回ローラーで締固め、さらに1回振動させながら締固めたが、その場合でも高速運転はできなかった。低速で再び振動させた場合には、ローラーがコンクリート中にもぐってしまったので、振動を止めローラーを後退させてコンクリートの外へ出し、それ以上の締固めは行なわなかった。

リフト間のコールドジョイントについては何も処置は行なわなかった。2日目の打込みのための進入路を作るに際し、フロントエンドローダーをコンクリートの表面を十分硬化する前に通す必要があった。このため表面付近の骨材にはゆるんだものもあったが、これらは、2日目の打込み前に圧さく空気を取り除いた。第1リフトの表面には、華状のものやレイタンスなどは全くなかった。それは第1日目の施工は3:00 pm に終了したが、地形の関係で2日目の施工前には直射日光が長く当ることはなかったためである。朝日によって下流側の表面がより早く乾燥していた。

試 験

材令約3ヶ月の時点で、12本の6 in (15 cm) コアを鉛直方向に表面から基礎岩盤まで採取した。更に施工継目の位置に全幅にわたり2本のコアを採取した。実験室においてこれらのコアを72の供試体に切り、各24個を圧縮およびせん断試験、16個を引張試験、8個を透水試験用とした。全供試体の位置を記入し、密度を測定した。コアの切断では、各試験に対してコンクリートの代表的な部分を提供するようにした。試験の半分は材令111~113日で行ない、残りの半分は138~140日で行なった。試験の結果を表1~4に示す。

密 度

このコンクリートの密度が相対的に均一であることからみて、締固め効果があったことはあきらかである。全供試体の平均密度は155.7 pcf (2.49 t/m³) であり標準偏差はわずか1.5 pcf (2.4 kg/m³) 以下であった。この値はTellico Dam のマスコンクリートにおける単位重量試験で得られた密度の偏差よりも0.1 pcf (1.6 kg/m³) 小さな値である。図1に締固められたコンクリートの深さによる密度の変化を示している。深さの影響を考慮した場合、平均線に平行に引かれた上下1.5 pcf (2.4 kg/m³) の範囲内に全試験結果の75%が入る。

2つのリフトの密度パターンには目立った差はなかった。密度は、第2リフト内の水分の多いコンクリートの影響は受けないようである。層厚の影響があるとしても極めてわずかである。締固めに最も影響を与えるものは、岩盤上あるいは施工継目上にあるまだ固まらないコンクリートの厚さがいくらあるかということがある。継目上あるいは岩盤上の厚さにともなう密度の減少は、一般の低スランブマスコンクリートの約3倍である。しかしこのことは別に問題にならない

表-1 圧縮強度

供試体番号	表面からの距離 in (cm)	材 令 日	圧 縮 強 度 psi (kg/cm ²)	単位容積重量 pcf (t/m ³)
層 № 2				
3	7(18)	111	2,423(170)	153.9(2.46)
1	11(28)	111	1,999(141)	151.9(2.43)
7	11(28)	111	2,688(189)	153.6(2.45)
11	12(30)	111	3,184(224)	155.2(2.48)
9	19(48)	112	3,999(280)	156.0(2.46)
平 均			2,860(201)	154.0(2.46)
4	7(18)	138	2,476(174)	155.2(2.48)
8	13(33)	138	3,077(216)	153.1(2.45)
6	13(33)	138	3,750(264)	155.5(2.48)
10	14(36)	138	3,290(231)	156.7(2.50)
2	17(43)	138	3,414(240)	155.7(2.49)
4	19(48)	138	3,150(221)	157.6(2.52)
平 均			3,190(224)	156.5(2.50)
縫 目				
1	73*(185)	112	4,558(320)	155.8(2.49)
1	91*(231)	112	4,382(308)	155.6(2.49)
2	47*(119)	158	3,995(281)	155.8(2.49)
2	70*(178)	138	4,083(287)	155.7(2.49)
層 № 1				
9	35 (89)	112	2,635(185)	155.0(2.48)
7	40 (102)	113	3,077(216)	155.5(2.48)
5	43 (109)	113	2,912(205)	156.6(2.50)
1	43.5(111)	112	3,294(232)	156.1(2.49)
3	45 (114)	112	3,537(249)	157.2(2.51)
平 均			3,090(217)	156.0(2.49)
2	32(81)	139	2,848(200)	155.7(2.49)
6	40(102)	139	3,891(273)	156.2(2.49)
8	40.5(103)	139	3,329(234)	158.3(2.53)
			3,360(236)	156.7(2.50)

* 上流面からの距離

表-2 引張強度

供試体番号	表面からの距離 in (cm)	材 令 日	引 張 強 度 psi (kg/cm ²)	単位容積重量 pct (t/m ³)
層				
9	7(18)	112	212(149)	153.6(245)
12	8(20)	139	152(107)	156.4(250)
2	19(48)	112	232(163)	156.5(250)
平均			198(139)	155.5(248)
縫 目				
1	23(58)	111	177(124)	155.7(249)
7	23(58)	112	226(159)	154.4(247)
11	24(61)	112	157(110)	155.8(249)
5	25(64)	112	159(112)	155.9(249)
6	25(64)	139	212(149)	155.0(248)
8	25(64)	140	120(84)	154.9(247)
10	26(66)	140	122(86)	155.2(248)
平均			168(118)	155.3(248)
層				
3	33(84)	112	226(159)	155.5(248)
12	44(112)	140	221(155)	157.5(252)
平均			224(158)	156.5(250)
岩				
2	44 (112)	140	113(79)	156.2(249)
4	44.5(113)	140	53(37)	157.4(251)
9	48 (122)	113	50(35)	156.1(249)
平均			72(51)	156.6(250)
水平コア				
2	58*(147)	140	322(226)	155.5(248)

*上流面からの距離

表-3 セン断強度

供試体番号	表面からの距離 in (cm)	材 令 目	セン断強度 psi (kg/cm ²)	単位容積重量 pct (kg/cm ³)
層 №2				
6	4(10)	138	743(522)	1534(245)
8	4(10)	138	740(520)	1535(245)
10	5(13)	138	611(430)	1573(251)
2	8(20)	138	424(298)	1546(247)
5	16(41)	112	572(40.2)	1590(254)
12	17(43)	138	630(44.3)	1590(254)
平均			620(43.6)	1560(249)
層 №1				
1	32(81)	112	492(346)	1538(246)
5	34(86)	111	608(428)	1543(246)
2	35(89)	139	812(57.1)	1555(248)
11	39(99)	111	736(51.8)	1565(250)
平均			663(46.6)	1550(248)
施工縫目(明確なもの)				
2	17*(43)	138	126(8.9)	1539(246)
1	35(89)	112	500(35.2)	1576(252)
1	53(135)	112	170(12.0)	1563(250)
1	59(150)	112	270(19.0)	1565(250)
2	116(295)	138	186(13.1)	1552(248)
2	122(310)	139	171(12.0)	1557(249)
1	124(315)	112	183(12.9)	1543(246)
平均			229(16.1)	1557(249)
(不明確なもの)				
2	35*(89)	138	503(35.4)	1565(250)
1	82(208)	112	288(20.2)	1554(248)
2	83(211)	138	346(24.3)	1557(249)
1	106(269)	112	592(41.6)	1564(250)
平均			432(30.4)	1556(249)

と思われる。というのは最大の工事においても、24 in (60 cm) 厚以上のものは考えられないからである。このコンクリートの各リフトは、2 時間以内に打ち終った。したがってリフトの下部のコンクリートも凝結を開始した。

表-4 水密性および透水性

供試体番号	施工継目長 ft (m)	透水係数 (K) ft ² /year / ft ³ (cm/sec 10 ⁻⁷)
1 H-P 128	0.500 (0.152)	0.274 (2.64)
1 H-P 20	0.188 (0.057)	0.104 (1.00)
2 H-P 86	0.438 (0.134)	0.184 (1.77)
2 H-P 125	0.438 (0.095)	0.036 (0.34)
2 H-P 101	0.313 (0.134)	0.010 (0.096)
1 H-P 38	0.229 (0.070)	0.0038 (0.037)
4 P-26.5	—	0.0013 (0.013)

圧縮強度

図-2 は圧縮強度と密度との関係を示す。密度の変化にはコンクリート内の空隙の変化が最も影響を与える。もしこれらの空隙が連行空気であるなら、空気量 1 % の増加あるいは密度 1.5 pcf (24 kg/m³) の減少に対して強度の低下は約 5 % である。図-2 は強度低下がこの値の約 1.5 倍であることを示している。これは規則的な連行空気よりも不規則なエントラップドエアによる空隙であることを示している。

図-3 は、このコンクリートの材令の経過にともなう圧縮強度の伸びと、セメントとフライアッシュの混合物に対して同量の水量を有している Tellico で用いられたコンクリートの伸びを比較している。この両者はよく一致している。このことはコンクリートの水和に何も支障がないことを示している。水平コアからの 4 個の供試体は、鉛直コアより得られた供試体よりもかなり高い圧縮強度を示している。これは、鉛直な平面内での締固めは水平面内よりも強く、水平コアの圧縮供試体は強度の高い軸方向を試験した結果と説明された。

引張強度

引張強度試験は長さ 12 in (30 cm) の供試体で行なった。コアよりわずかに大きい 6 in (15 cm) の直径で 2 m 厚のソケットを有するプレートを供試体端部にキャッピング材で取り付け

供試体に引張荷重を作用させる単純な試験方法とした。

引張強度試験を行なった主な理由は、岩盤との付着と、コールドジョイント部における付着強度を評価することである。コンクリートの平均引張強度は鉛直コアだけの引張強度の平均値の約80%であり、表-2から処理していないジョイントの平均強度はそれの57~100%の範囲である。鉛直コアの引張強度は、一般のコンクリートでいわれているように圧縮強度の10%より小さい。しかし、水平コアの引張試験のうち1つは平均圧縮強度の10%であった。岩盤までのばした鉛直コアの引張試験は12本のうち3本についてのみ行なうことができた。もう一本のコアは付着が良好であったが、浅く埋っていた岩盤はプレートを取り付けたごく近傍で破壊した。その他のコンクリートと岩盤との継目は全て堆積物や汚れが観察されたが、これは付着の低下を示している。12本のコアのうち2本は岩盤上で豆板ができていた。その他の全てのコアは岩盤表面においても良く締っていた。

せん断強度

せん断強度試験は、6 in (15 cm) 長の供試体を用い、供試体の半分を固定し、他の半分に押出すような荷重を作用させる方法で行なった。

せん断の場合には、鉛直面における強度は水平面におけるものより高く、これは、引張や圧縮試験で得られたと反対の結果となっている。水平コア供試体において、継目が分からない、あるいは識別しにくいものは、コンクリートの強度とし、継目の強度とはしなかった。継目がはっきり識別できた供試体の平均せん断強度は229 psi (16.1 kg/cm²) であったが、締固められていない面で破壊したと見なされる低強度のものと継目外で破壊したと見なされる高強度のものを除くとジョイントの平均せん断強度は197 psi (13.9 kg/cm²) であった。滑動に対して一般的に用いられているせん断-摩擦に対する安全率の値4を用いるとすれば、この無拘束状態におけるせん断強度は、従来の設計方法で高さ240 ft (73.2 m) の重力式ダムを設計するのに十分なものである。

透水性

透水試験において漏水を妨ぐために供試体表面を十分密封することが非常に困難なので、透水試験は強度試験を行なったのち数ヶ月後に行なった。試験は長さ6 in (15 cm) の供試体を用いた。コンクリート中に最大寸法3 in (7.6 cm) までの大きな粗骨材が存在していることは、透水係数がかかなり大きくなる一因と思われる。

7個の透水試験のうち1個は継目部以外で行なった。その透水係数は単位動水勾配あたり、 13×10^{-4} ft³/year/ft (13×10^{-10} cm/sec) であり、他のマスコンクリートとそれ程変わらない値

である。しかし継目のある供試体の流出割合は単一な供試体の割合の2～140倍の値となった。供試体の継目におけるすべての流出が浸透するものと仮定すると、ジョイントの平均浸透割合は、単位動水勾配あたりジョイントの直線1あたり $540 \times 10^{-4} \text{ ft}^3/\text{year}$ (1m当り $50 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{年}$)となる。重力式ダムにおいては、単位動水勾配は一般に厚き1ft (1m)あたり1.2ft (1.2m)の水頭となる。このことは、一年間にジョイントの直線長1ft (1m)あたり約 $\frac{1}{2}$ gallon (6ℓ)の水が流出することを意味している。この量は特別問題にはならない。あるジョイントにおける最大浸透割合を2倍としてもこの量は特に問題とは思われないと思われる。

水和熱

このコンクリートの水和熱測定は行なっていない。というのは、温度上昇は、24 in (60 cm)の層厚で24時間空気中に曝されるという条件で打込んだ場合、従来の計算では最大でも15°Fを越えないものと思われるからである。

結 論

結論を言えば、零ランブのマスコングリート（マスコンクリート）を振動ローラーで締固める方法は、空港や道路の舗装、高さ240ft (72m)までの重力式ダム—高強度のコンクリートを用いた場合にはより高いダムも可能性があるが—のように機械を活用するに十分な面積のある全ての場所では、急速に経済的にコンクリートを打込む適切な方法であると筆者は考える。また岩盤上に柱やピア—などの高価なものを必要とする場合に岩の置換としても、盛立コンクリートと同様にこの方法を用いることができる。

この方法をより小さな面積のところに使用するために、わずかに大きなスランブのコンクリートを用い、小規模なローラーとスプレッダーを用いることも考えられる。表面処理についてはここでは何も書いていないが、いくつかの可能性があると考えられる。コンクリートの強度は、継目の処理を行なわなかった場合においてもマスコングリートに対して予想される強度と同等あるいはそれ以上のものであった。もしコンクリートダムが他のダムと競争し得るような位置を取りもどそうとするならば、機械や人力の打込み費用を大幅に減少させる必要がある。この方法は、少なくとも最も早い打込み方法であり、それ故他の形式のダムと同等あるいはそれ以下のコストのコンクリートダムを目ざす人々にひとつの方向の一段階を提供するに違いない。

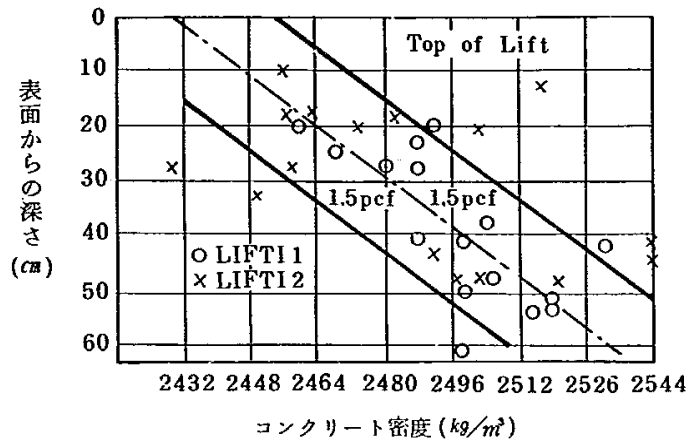


図-1 締固めコンクリートの密度と深さの関係

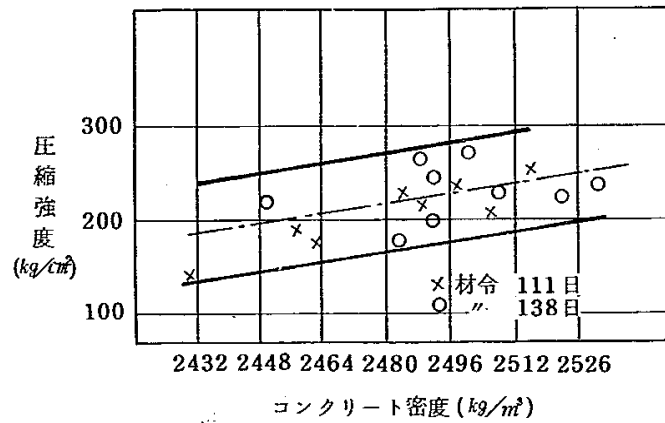


図-2 圧縮強度とコンクリート密度との関係

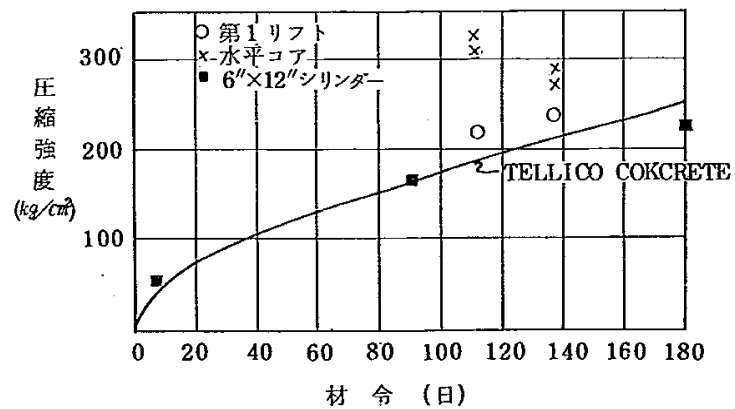


図-3 圧縮強度と材令の関係 (TELLICO DAM との比較)

(資料 2)

ロストクリークダムにおけるローラー転圧コンクリート試験

Donald J. Holl

Donald L. Hovghton 執筆

1974年6月

オレゴン州 ポートランド

米 国 陸 軍 工 兵 隊

ポートランド事務所

ま え が き

ここに報告する実験，研究はエルククリークレークダムの堤体，余水吐，および放流設備の開発研究の一部をなすものである。

1972年12月，米国陸軍工兵隊の水理実験所（以下WESと略す）において行ったローラーによるコンクリートの締固め試験に続いて，1973年5月13日から18日までの間ロストクリークレークプロジェクトの現場で行った試験が本報告書の内容である。技術部長（現在退任）Donald H. Basgen氏の積極的な指導の下にポートランド事務所の職員，例えば現技術部長のLeonard J. Stein氏とか，外にWilbur D. Roush氏，Donald J. Hall氏などが本研究に参加した。北太平洋事務所からはDonald L. Houghton氏が代表として加わった。この報告書は上記Hall氏とHoughton氏との共著である。

北太平洋事務所の研究室では，Oruill E. Borge氏（室長）が実験研究を指揮した。またこの実験研究のプロジェクトマネージャーにはコンクリート研究室長のJames Paxton氏が当った。

本技術報告書は，検閲，承認済みである。

目 次

まえがき

要 約

第1章 序 論

第2章 材料および配合

ポルトランドセメント

ボゾラン

骨 材

配 合

第3章 設備, 試験区画および現場供試体

振動ローラー

計量および練混ぜ設備

試験区画

作業順序

第4章 養生と保護

打設中の養生と保護

打設後の養生と保護

第5章 穿 孔

試験コア

第6章 室内試験

コア供試体の作成と試験

試験結果

第7章 管理試験方法

概 説

コンシステンシー測定法

Vebeコンシストメーター

Walz 締固め比法

6×12 in (15×30 cm) 試験モールドでの締固め法

最大密度に対する土質振動締固め試験

室内試験の要約

第8章 結論と勧告

結 論

勧 告

参 考 文 献

付表 1～9

要 約

オレゴン州トレールのロストクリークダムで1973年5月13日から18日までの間、骨材の最大寸法(MSA)3 in (7.6cm) の貧配合コンクリートを振動ローラを用いて締固め試験を行った。単位セメント量235 Ib (139kg) の標準配合とセメントの一部をフライアッシュとか現地で購入できた焼成けつ岩などのボゾランで置換えた配合を用いた。後者についてボゾランを含む単位セメント量は99 Ib (59kg) から275 Ib (163kg) である。このほか、MSA 1 1/2 in (3.8cm), 3/4 in (1.9cm) の2種の配合が水平打ち継目の上の厚さ3 in (7.6cm) の立ち上り用および敷コンクリート用として設計し使用した。敷コンクリートを除いていずれも締固め後の厚さを約8 in (20cm) となるようにした。

北大平洋地区研究所で管理試験のための室内試験を行った。CRD-C2 (ACI-211-65) に示されているVebe試験は、現場試験には適さないことが判った。室内試験で20 Ib (9kg) の荷重を更に加えることによって良い結果が得られることがわかった。コンクリートをモールドに入れ供試体を成形する方法も示した。

管理試験に土の突固め試験法が採用できないかどうかについても検討した。

ローラ転圧用コンクリートとして適切に配合されたものは振動ローラを用いて通常の土の締固めと同様にうまく打設できることが結論された。

ボーリングによって採取したコアについての試験結果から透水性や付着強度は通常の貧配合マスコンクリートの場合と大差がないことが判った。硬化した水平打ち継目に立ち上り用配合を用いるとよいことも判った。

Vebe試験装置を改造することによって、管理試験にも、また管理用供試体をモールド成形するのにも用いることができる。

ロストクリークダムにおけるローラ転圧コンクリートの研究

第1章 序 論

1972年12月にWESでノースランプコンクリートを振動ローラで締固める試験を行った。

コア供試体についての試験から、この方法によってマスコンクリートよりさらに適切な性質をもったコンクリートが打設できることが判った。しかし施工継目とか水平打ち継目の付近では、透水性が大きく、付着性が劣ることも判明した。

そこで硬化した水平打継目の付着性ならびに透水性についてさらに調査を進めるための現場試験を計画した。試験現場として選ばれたのがロストクリークダムである。

1972年12月の試験ではセメント材料としてはポルトランドセメントだけを用いた。だがロストクリークでの一連の試験では上記セメントの一部を、フライアッシュとか現地で入手できる焼成けつ岩といったボゾランと置換えた。

最大寸法3 in (7.6 cm) の骨材 (MSA) を用いた数種の貧配合コンクリートのボゾランを含む単位セメント量は、99~275 lb/cuyd (59~163 kg/m³) である。このほかに 1½ in (40 mm) MSA で単位セメント量 500 lb/cuyd (296 kg/m³) のものと、¾ in (20 mm) MSA で単位セメント量 550 lb/cuyd (300 kg/m³) のものの二種類を設計し、これらを硬化した水平打継目上の厚さ 3 in (7.6 cm) 立ち上りコンクリートとして用いた。

敷コンクリート以外の層の厚さは締固め後、約 20 cm とした。

次の層の打設前に下の層を硬化させたものと、前の層が硬化しないうちに次の層を打設したものと両方を試験した。

本研究の目的はローラ転圧コンクリート (RCC) の付着性と、透水性を求めることにある。

種々の振動ローラやボゾランが締固めとかその他 RCC の諸性質に及ぼす影響を調べた。

ロストクリークダムの試験で用いた RCC はモルタル量を一定とし、またほとんどのコンクリートの単位水量も 140 lb/cuyd (83 kg) である。11種の配合について検討したが、このうち8種の配合だけを用いた。これらを 20×60 ft (6 m×18 m) の試験区間に打設した。

試験区間からコア供試体を採って、強度試験や透水試験を行った。

また各試験配合について、空気量を調べ、スランプ試験を行った。このスランプ試験の補足として CRD-C 2 (ACI 211-65), "ノースランプコンクリートの配合選定推せんする方法" (2) 示されている Vebe 試験装置を用いた。Vebe 試験によって施工性のよい配合を求めることができ、またゼロスランプコンクリートの区別を明確にすることができる。現場試験では Vebe 試験によって必ずしも明確な結果をもたらさなかったが、その後、室内試験では装置を少し改造し、ゼロスランプの貧配合コンクリートについても満足な結果が得られるようにした。

第2章 材料および配合

ポルトランドセメント

いずれの場合も NPD 9628 研究所レポート中の第Ⅱ種低アルカリポルトランドセメントを

用いた。

表-1にこのセメントの化学的・物理的性質を示す。

ボゾラン

用いたフライアッシュならびに焼成けつ岩のサンプルの試験結果を表-2, 表-3に示す。

骨 材

細骨材, 粗骨材はロストクリークダムのコンクリート骨材貯蔵所のものを使った。

細骨材は粒径 3 in (80mm)以上の砂利から作った。

細骨材, 粗骨材ともにCE 140 1.0 1に適合するものとした。表-4にこれらの物理的性質粒度を示した。

配 合

表-5に使用もしくは検討した配合を示す。容積にしてセメントの最大80%までをボゾラン(フライアッシュまたは焼成けつ岩)で置換えた。配合のうち一つについては, 細骨材の10%をボゾランで置換えた。単位水量は140 lb/cuyd(83kg)とし120 lb/cuyd(71kg)のものと160 lb/cuyd(95kg)のものも試験した。配合試験では水・セメント比, または水・セメント+ボゾラン比は0.51~1.41(重量)とした。

第3章 設備, 試験区画および現場供試体

振動ローラ

予備試験の段階では種々のRCC配合を設計し, 練りまぜて試験区画に運搬した。こうした予備実験によって, 図-1, 図-2に示すCA-25型ならびにC-250A型の振動締固機は表面を乱しすぎて有益でないことが判った。そこで締固の作業は殆んど図-3に示す自走式のタンデムローラCC-42Aを用いた。CA-25とWES試験で用いたCA-25Dは, 後者が駆動ドラム式である外は非常に似たものである。

表-6に試験現場で用いたローラの種類, パネル番号, 層厚と締固め順序, 回数などを示した。

計量および練まぜ設備

コンクリートの計量, 練まぜには, 現場用のErie-S-trayer Combo 8型, 自動累加計量器付きバッチャープラントを用いた。容量4½ cuyd(3.44 m³)のErie 可傾式ミキサーで100秒間練混ぜた。自動計量にはErie のパンチカード制御盤を用いた。

試験区画

試験区画は, ロストクリークダムプロジェクトのバッチャープラントの近くである。

その形は $60 \times 200 \text{ ft}$ ($18 \text{ m} \times 61 \text{ m}$)である。(写真-1の上)これを前掲の図面に示すように10の等しい面に分けた。1面 $20 \times 60 \text{ ft}$ ($6 \text{ m} \times 18 \text{ m}$)である。

面1の外側に、隔壁として砂で支えた長さ約 30 ft (9 m)の木製型枠を設けた。これは垂直枠面に接した打設、締固めのシミュレーションのためである。

また現場試験に先立って、試験区画の地盤を適度にならし、振動式ローラで締固めた。

作業順序

試験区画にRCCを打設する前にその配合 8 cu yd (6 m^3)を、テストパネル9と10へ運び、D-8ブルドーザで厚さ 23 cm に敷拡げた。これを振動ローラCA-25またはC-250Aで層厚公称 8 in (20 cm)となるように締固めた。

いずれのローラーによってもうまく締固められることが判ったが、C-250Aは機動性に欠け、後進のとき表面を掻き乱す傾向があった。(従ってもしC-250AをRCC計画で使用する場合は一方向にだけ進め、後退させないようにする必要がある。)

種々の配合で試験してみた結果、材料の分離がいくらかみとめられたが、各配合での締固めの度合には差がなかった。

分離は、運搬、積卸し、敷ならしの際に生じたものである。そこで、ミキサーから $10 \sim 12 \text{ ft}$ ($3 \text{ m} \sim 3.7 \text{ m}$)下の35トンユークリッドトラックの床面まで落すために生ずる分離を防ぐため、直径 12 in (30 cm)のドロップパイプを付けたホッパーを用いてみたが、このホッパーやパイプが塞がってうまく行かなかった。そこで分離に関して問題あり、分離によってコンクリート中のベースト分や粗骨材分に悪影響が及ぶので、将来分離を起さないようななんらかの装置なり、方法を考えなければならないという結論が得られた。転圧、敷ならし作業中に、ベーストや粗骨材だけの部分ができることがみとめられた。ベーストだけの部分は、人が繰返し足で踏んだりすると(写真-1の下)ゴム状となりべたついた。試し練り配合で、粗骨材量をいろいろ変えてみたら、分離の度合がやや改善されることがわかった。この結果から本試験には粗骨材量を適度に調整したものを用いた。

試験打設は、まず配合①を用い、面1で行った。総量 32 cu yd (24 m^3)を積卸し(写真-2)、敷ならしを行ない(写真-3)、規定の厚さ 20 cm になるように締固めた。次いで配合⑤、④、⑨、⑦、⑩、⑥をそれぞれ、面2、3、4、6、7、8に同様に締固めた。

32 cu yd (24 m^3)を打設し、D-8ドーザーを用いて厚さ 9 in (23 cm)に敷きならした。締固めには、ローラCA-25とローラCC-42Aとを用いた。前進2回、後進2回、計4回に締固めるのが適切なことがわかった。隣接する転圧は約 6 in (15 cm)位重なるようにした。試験区画全部について必ずしもこの通りにはいかなかったが、一応上記を標準とした。

フライアッシュを使った場合と焼成けつ岩を使った場合、見た目では前者の方が水分が多い

感じであった。だが、普通のバッチャーブラントの操作や、水量管理のばらつきに比べれば、ボゾランの質による差は殆どないという意見の人もいた。

既に硬化している層の上にRCCを打込むときには、下の層の表面のゆるんだ粒子を圧縮空気で吹飛ばし表面清掃した。

面1の硬化した水平打継目の上には、配合⑩(MSA 1½ in (40mm) 立上り用配合に着色顔料をまぜたもの)の厚さ3 in (7.5cm)の層をおさ(写真-5)、これを敷きならした上に①の24 cu yd (18 m³)を6 in (15cm)厚に敷きならした。これら二つの層を前と同様、振動式ローラCC-42Aによって同時に転圧した。

面2の硬化した水平打継目の上には、やはり着色顔料を入れた配合⑤のコンクリートを32 cu yd (24 m³)敷きならした。この層も標準方式で、CC-42Aローラによって締固めた。

上記の面1, 2のそれぞれの上に8 in (20cm)厚の層を2層前述と同様な方法で施工し、硬化させた。以上の作業が終わったところで、これら混合物の浮き水の具合や分離の度合いがどう違うかの討論を行った。数人の研究者から、仕様よりいく分水量とセメント量を減らしたいという要望があったので、配合⑬(セメント量110 lb (65 kg)フライアッシュ量38 lb (23 kg)水量120 lb (71 kg))が設計された。また転圧を往復1回ずつの2回でよいのではないかという意見も出た。しかし、これだけでは、ほとんど締固まっていない部分もあったので、前に述べたとおり往復2回ずつ4回の方式をつづけて用いることにした。

次に面1, 2, 3, 7, 8の硬化した打継目上にコンクリートを打設した。パネル1, 7には配合⑩に着色顔料を加えたもの、パネル2, 8には始めに打った配合に着色顔料を加えたものとした。これ以後のすべての配合は色をつけていない。打ち込み時間を短縮し、本計画を早く完了するため、面の長さを約60%に短縮することが必要となった。層の幅、厚さは当初の計画どおりである。コンクリートは面の中心について対称となるように打った。

面3では、北半分と南半分とに別けて別々の配合を用いた。硬化した打継目の上に北半分には配合④を、南半分には配合⑫を用いた。下層はいずれも配合④を使った。

さて問題は、部分的にゴム状になりべたつく(rubbery)個所を生じたことである。もともとこうした現象は通常の貧配合マスコンクリートや土の締固めの場合によく見られるものである。ただ、この現象がRCC打込みの場合にどのような影響があるのかは判っていない。ただはっきりしていることは、こうした部分のコンクリートの品質は通常の振動締固めを行った貧配合マスコンクリートと同等以上でなければならないということである。

最後に一連の硬化した水平打継目上の施工試験が行なわれた。表面を圧縮空気できれいにした後、着色コンクリートの薄い層を施工する。面7では混合物⑩の3 in (7.5cm)層の上に配合⑩の8 in (20cm)層を施工した。また面8ではMSA¾ in (20mm)骨材を用いた厚さ3.5



写真-1 試験区間とべたついたゴム状の部分



写真-2 ダンプ状況

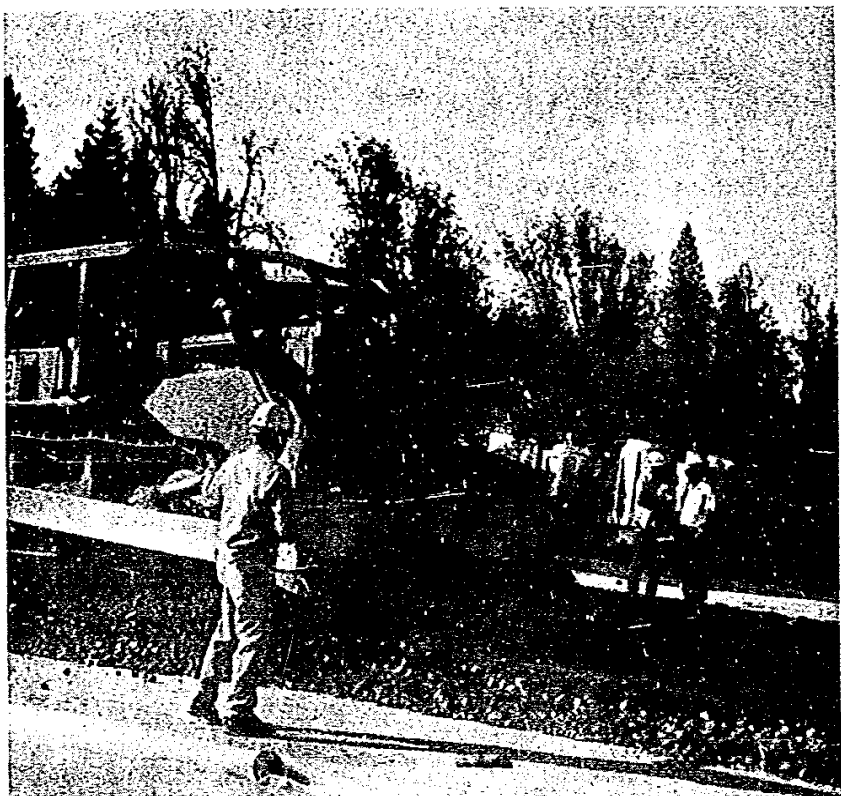


写真-3 敷き均し

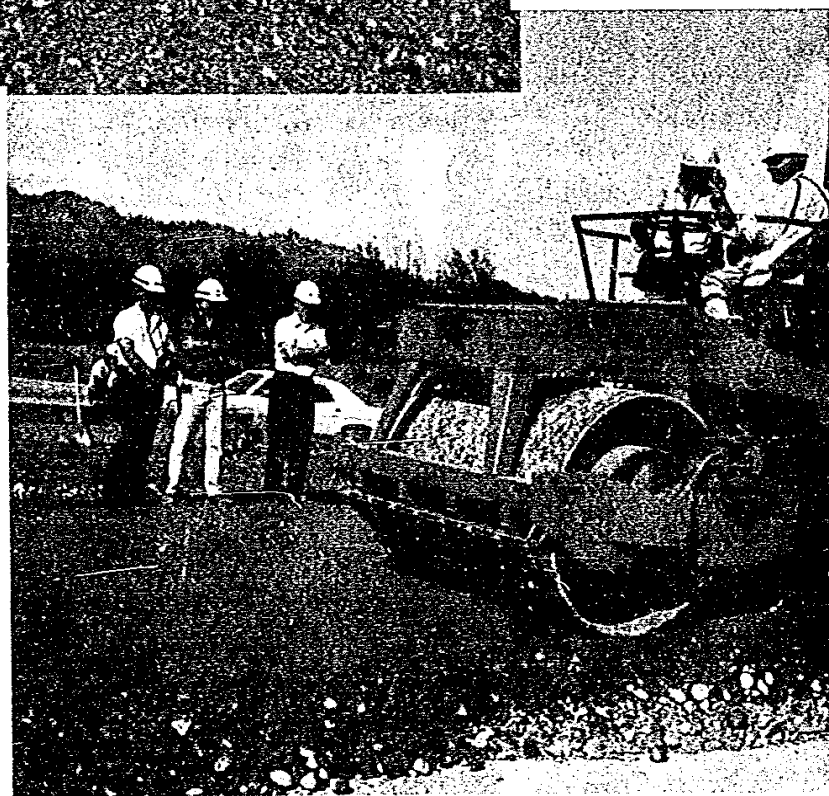
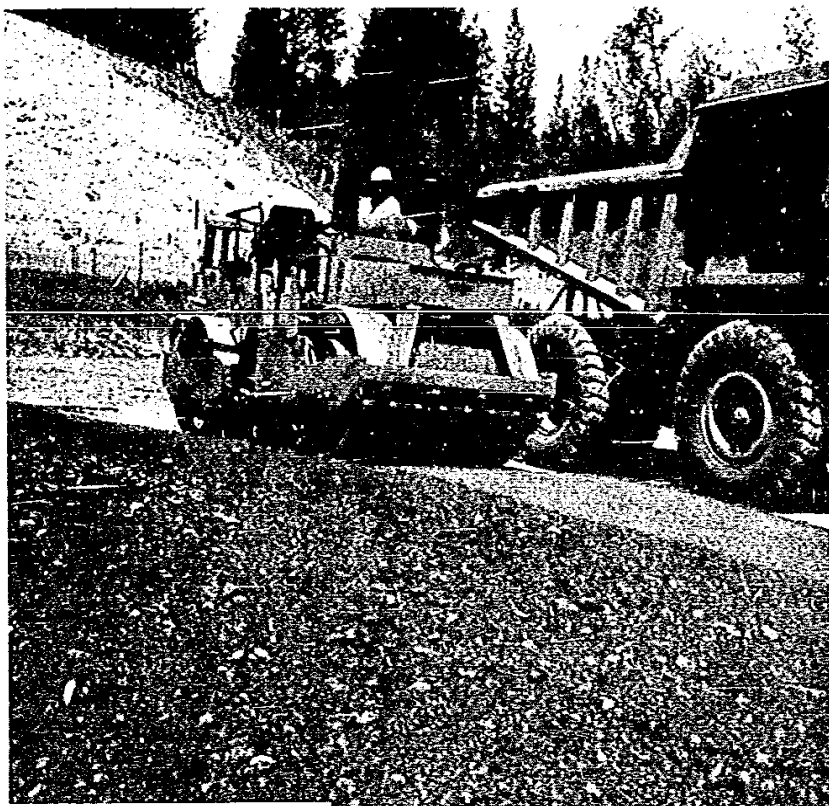


写真-4 初期転圧と最終転圧

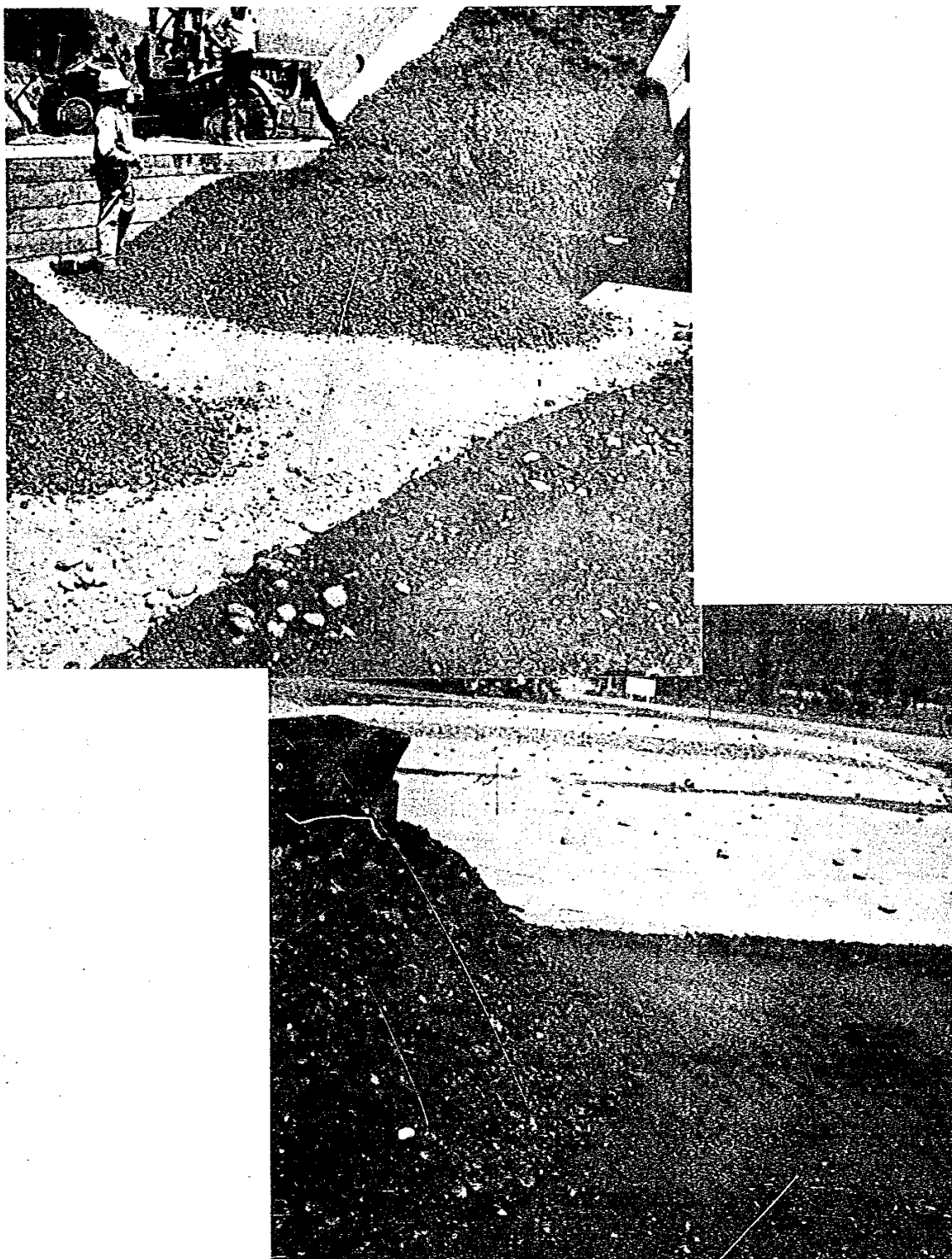


写真-5 40mmと20mmMSAの褥層混合物

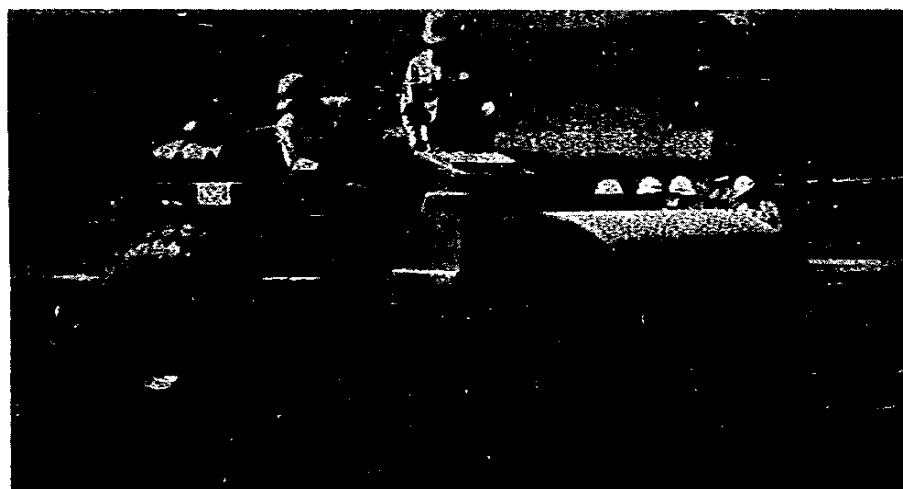


図-1

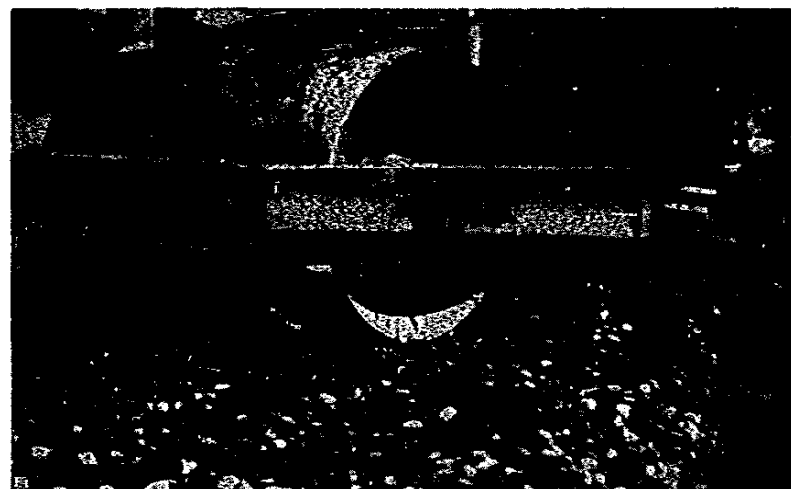


図-2



図-3

振動ローラの仕様

CA-25

自走式単ドラムローラ（ローラは駆動しない）

会 社	Feenaughuy Machinery Co.
製 作 会 社	Portland, Oregon Vibro-Plus Products
鉄 輪 の 重 量 (Kg)	4,650
振 動 数 (rpm)	最大 1,700 まで
起 振 力 (Kg/cm) **	7.6
*全インパクト力 (Kg/cm) **	9.8
ド ラ ム の 巾 (cm)	213

*全インパクト力 = 振動力 + $\frac{\text{ドラム重量}}{\text{ドラム巾}}$ ** ドラム巾 1 cm 当り

C250A

索引式単ドラムローラ（ローラは駆動しない）

Umpqua River & Navigation Co.
Lost Creek Dam
Hyster Co.
9,750
1,200
109
158
203

CC-42A

自走式タンデムローラ（駆動式）

Feenaughty Machinery Co.
Portland, Oregon
Vibro-Plus Products
10,400
最大 2,400
30-Low Amp./59-High Amp.
61-Low Amp./91-High Amp.
168

in (8cm) の着色コンクリート層を打込み、この上に配合⑥の層 8 in (20cm) 層を施工した。(写真-5の下)。面5では配合⑨に着色顔料を加えたもので、6 in (15cm) 厚の層を打ち、締固めてからその上に配合⑨の 8 in (20cm) 層を施工した。

第4章 養生と保護

打設中の養生と保護

各層の打設が終了し、水平打継目の上にすぐにつぎのコンクリートを打込まずに硬化させる場合には、つぎの層を打込むまで表面を散水養生し、ポリエチレンシートで覆って保護する。

打設後の養生と保護

湿潤養生を7日間行い、その後表面に白色顔料入りの養生剤を散布した。穿孔を行なうまでこの状態を保った。

第5章 穿 孔

試験コア

コアボーリングを始めたのは1973年6月25日である。しかしセメント+ボゾランの貧配合のものではコアが満足に採取できず、ボーリングを中断しなければならなかった。最初は材令90日の供試体について試験しようとしたが、これを材令120日に変更し、1973年8月7日にボーリングを再開した。しかし、試験区間によっては所要長さのコアを採取するには細心の注意を要した。多量のボゾランを用いた貧配合の場合には、圧縮試験用コアを採取し、試験するには材令180日は必要だったであろう。

a) 直径10 in (25cm) 打継目をはさんだ垂直コアを合計200ft (61m) 以上と(図-4, 6) 打継目沿いおよび打継目と平行に同じく径10 in (25cm) の水平コア(図-5, 7) を合計長さ140ft (43m) ボーリングした。

上記のボーリング量に対して、実際に採取されたのは垂直方向のコアが160ft (49m)、水平方向のものが99ft (30m)であった。これを北太平洋事務所(NPD)の材料試験室に送って試験した。垂直方向の採取率は80%(図-9)、水平方向では70%であった。面3-Sでは水平方向のボーリングはしなかった。また面6では水平ボーリングをしたが、コアは採取できなかった。表-7にコア採取の結果を示した。

第6章 室内試験

a) コア供試体の作成と試験

こうして得たコアをダイヤモンドソーで種々の長さにカットした。透水性と横せん断強さを測定するには径10 in (25 cm) コアから径6 in (15 cm) の供試体を削り出すことが必要であった。コア供試体について実施した試験項目は次のとおりである。

- (1) すべてのコアについて、水中容積から、単位体積重量を求めた。
- (2) 垂直コアについてCRD-C 14⁽²⁾ (ASTM C 39) による圧縮強さ (図-14)。
- (3) 垂直および水平コアについてCRD-C 77⁽²⁾ (ASTM C 496) による圧裂引張り強さ (図-12, 13)。
- (4) 垂直および水平コアについて、CRD-C 89⁽²⁾ による縦方向せん断強さ (図-10, 11)。
- (5) 垂直コアについてCRD-C 90⁽²⁾ による横方向のせん断強さ。
- (6) 垂直コアから3 1/2 × 4 1/2 × 16 in (9 cm × 11 cm × 41 cm) のビーム供試体を切出し、これを用いてのCRD-C 20⁽²⁾ による凍結融解試験。
- (7) 垂直、水平コアについてCRD-C 48⁽²⁾ による透水試験。

透水試験はミシシッピー州ピックスバークの水理実験所で行った。

b) 試験結果

試験結果の詳細は表-8に示す。要約するとつぎのとおりである。内部から採取した垂直コアの圧縮強さは1600~3280 psi (112~230 kg/cm²) 圧裂引張り強さ240~385 psi (17~27 kg/cm²)、縦方向のせん断強さは390~895 psi (27~63 kg/cm²)、横方向は140~695 psi (10~46 kg/cm²)、透水係数は3.8~4.4 × 10⁻⁴ ft³/yr (11.4~132 × 10⁻¹¹ cm/sec) などであった。硬化した水平打継目に沿って採った水平コアの場合、圧裂引張り強さ100~310 psi (7~22 kg/cm²) 縦方向のせん断強さは145~530 psi (10~37 kg/cm²) 透水係数は42~116 × 10⁻⁴ ft³/yr (1.26~348 × 10⁻¹¹ cm/sec) であった。

第7章 管理試験方法

a) 概 説

ロストクリークダムでの試験打設を通じてRCCの新しい管理試験方法が必要となった。コンシステンシーは普通のスランプ試験では測定できないし、圧縮強度試験と空気量試験のためのモールドやエアーメーターで普通の内部振動を用いたのでは適切な締固めは不可能である。

ノースランブコンクリートはフィルダムに用いられる粒状材料といろいろな点でよく似ているので、これに対する試験法の中にはRCCにも適用できるものがある筈だと考えた。特に最適含水量—最大乾燥密度の関係が適用できそうに思えた。

b) コンシステンシーの測定法

(1) Vebe コンシステンシーメータ

ゼロスランブのコンクリートのコンシステンシーの測定法として3種の方法がCRD—C2⁽²⁾の「ノースランブコンクリートの配合選定基準 (ACI・211—65)」¹に示されている。ロストクリークダムはこのうちのVebe 試験法^{*}を採用した。試験的に使ってみて、上記基準そのままの方法や装置では貧配合のノースランブコンクリートには適用できないことが判った。コンクリートの水量が少なすぎて十分に圧密されず、標準法ではエンドポイント (圧密に要する時間) がはっきり握めない。振動式ローラでよく締固めることのできる貧配合ノースランブコンクリートのコンシステンシーは、あきらかに標準Vebe 測定法で測定するには水量が少ないし、単に測定し得る一番硬い値として示されるだけである。そこで改良して、より硬練りコンクリートの測定ができるように、圧密の間にコンクリート表面に載せる荷重を大きくした。標準法の載荷重は (目盛付の軸、プラスチック製の受軸板を含めて) 7.5 Ib (3.4kg) である。最初は標準Vebe 軸受板に 5 Ib (2.3kg) を加え計 12.5 Ib (5.7kg) の載荷重とする改良を行なった。この方法ではMSA 1½ in (40mm) 単位セメント量 500 Ib (296kg) の富配合の敷コンクリートではうまく測定できた。しかしMSA 3 in (80mm), 単位セメント量 235 Ib (139kg) のコンクリートをウェットスクリーンし、最大粒径 1½ in (40mm) とした比較的貧配合のコンクリートでは、必要な測定精度がなかった。そこで載荷重を 20 Ib (9kg) ふやし、合計載荷重 27.5 Ib (12.4kg) として貧配合コンクリートについて試験してみたところ、信頼できる結果が得られた。

(2) Walz 締固め比

本法⁽⁴⁾は原理として、ゆるく詰めたコンクリートのかさ密度はコンシステンシーの関数であることを利用したものである。断面円形または正方形で、この直径または一辺の2倍の高さをもつ鋼製の容器に、ゆるく詰めたコンクリートの容積と、これを締固めた後の容積との比を「締固め比」と呼ぶ。MSA 1½ in (40mm) の場合には 8×16 in (20×40cm) の容器がよいとされている。本試験では直径 6 in (15cm) 高さ 13 in (33cm) の鋼製円筒形容器を用いた。締固めVebe 試験機の振動台によった。最初の試みでは、準備間に容器中のコンクリートが揺動したり脱落したりして最終段階まで締固めができなかった。載荷重を 12.5

* Vebe 試験法：モールド中にコンクリートを層に分けて突き固め、上部に円板状重錘によって載荷しつつ下から振動を加え、その締固り程度によってコンシステンシーを測定する方法。

Ib (5.7kg) としたらこのようなことはなくなった。だが試験結果から見て R C C コンクリートのようコンシステンシーの非常に大きなものを対象とした場合には満足すべきものではなかった。従って、MSA 3 in (80mm) の低含水量のものには本試験は行わなかった。

c) 15×30 cm コンクリート試験モールドでの締固め法

標準試験モールドへの締固め法 2 種について試みた。一つは土質用の標準締固め試験装置⁽⁵⁾によって人手で締固める方法で、いま一つは Vebe 試験装置の振動台によって外部からの振動で締固める方法である。前者では満足な結果が得られず三、四度試みた上、これは放棄することにした。

振動台を用いた後者の方法では、ほぼ同じ容積の 3 層に分け、載荷重 12.5 Ib (5.7kg) としたものは非常によい結果が得られた。鋼製の再使用可能なモールドでも、すず製の一回限りのモールドでもともによい結果の得られることがわかった。始めの数回は Walz 試験に用いた 6½×13 in (16.5cm×33cm) の鋼製容器の内側にすずモールドを入れ、振動台上で動かないようにした。この方法では台から鋼製容器を取外し、コンクリートの詰っているモールドを排除するのに相当な時間がかかるので、外側の鋼製容器をやめて、すずモールドを手で振動台上に位置が変わらないように押えることにした。このようにすると前と同様満足な結果が得られ、始めのやり方に較べコンクリートの締固めに要する振動時間が少なくて済むことが判った。

d) 最大密度を求めるための土の振動締固めの試験

11 種のノースランブコンクリートすなわち 8 種の MSA 1½ in (40mm) 単位セメント量 500 Ib (296kg) の数コンクリート配合と、3 種の MSA 3 in (80mm) 単位セメント量 235 Ib (139kg) の配合の密度試験に「相対密度」試験法⁽⁶⁾を用いた。単位水量は MSA 1½ in (40mm) では 159~199 Ib/cuyd (94~118kg) とし、MSA 3 in (80mm) の 3 種類については、120 (71), 140 (83) 160 Ib/cuyd とした。MSA 1½ in (40mm) の分についてまず試験的な意図でやってみた。試験に用いた振動台は、荷重 250 Ib (113kg) のもとで振動数 3,600 Hz 最大振幅 0.015 in (0.038cm) の能力のものである。コンクリートのサンプルを内径 11 in (28cm), 容積 0.5 cu ft (0.014 m³) の容器に入れる。この容器には振動台にボルト締めするための出張りがあり、また供試体の径 11 in (28cm) 面に 2 psi (0.14kg/cm²) の圧力をかけるための載荷重装置がついている。コンクリートをこの容器にゆるく詰め、表面を削り落とし、8 分間振動させる。これによって容器内の供試体の高さが減少するのを測って締固められた容積を計算する。済んだら供試体を鍋にあげ秤量し、乾燥させる。こうして湿潤密度、乾燥密度、全水量が計算される。上述の振動時間 8 分というのは締固めするだけのためならあきらかに長すぎ、そのためブリージングを起し、上昇した水の一部が流れ落ちる。このロス分と、セメントの一部水和に消費された水量との和は、コンクリート中の理

論的全水量と炉乾燥した実際の全水量との差に当る。MSA 3 in (80mm) の混合物についても一連の試験を行なった。MSA 3 in (80mm) MSA 1½ in (40mm) いずれの試験からも最適含水量と密度の一定関係が得られたが、この最適含水量値は現場打込みのRCCには適用できるものではない。

e) 室内実験の要約

ここに取上げている貧配合のマスRCCは、通常のプラスチックなコンクリートの打込み法や試験法と異っており、その意味では新しい建設材料と考えるべきものである。CRD-C2 (ACI 211-65)⁽²⁾で記載されているノースランブコンクリートはプレストレスコンクリートやプレキャストコンクリートに用いられるセメント使用量が多く、早期強度が得られるコンクリートから派生したものであり、打込みの際、理想的状態では内、外からの振動が加えられる。CRD-C2⁽²⁾に引用されている標準Vebe試験では、Vebe値が5~10秒(0~1 in (0~2.5cm)スランブに相当)のものを「硬い」とし、18~32秒のコンクリートを「非常にドライ」と分類している。さて本研究で用いたMSA 1½ in (40mm)のコンクリートの標準Vebeコンシステンシー値は64~1650秒、MSA 3 in (80mm)のものでは、35~290秒であった。そこでこの標準試験機の載荷重7.5 Ib (3.4kg)にさらに20 Ib (9 kg)加えた改良試験機を用いた。これによってVebeコンシステンシー値が小さくなり、締固まりのエンドポイントがはっきりするので、再現性が良くなり、硬練りコンクリートに対する測定可能範囲がずっと広がった。空気量の測定値は近似的なものと考えなければならない。標準的な空気量測定法では、よく締固った状態の空隙の少ないものにするのが難かしいからである。供試体を作るのにはVebe装置の振動台を使って外からの振動で締固めれば問題がないことが判った。モールドを台に固定させるようにVebe装置を改造する必要がある。土を振動させて「相対密度」を求める試験方法の結果から、RCCの場合にも最適含水量と密度の関係が成立するようではあるが、この関係は、打込み、締固め、あるいはまた強度を最適なものとするための水量を決める手段としては意味あるものではなかった。

現場打ちコンクリートから採取したコアについての試験結果を含めて、これらコンクリートに関する試験、調査から、本研究に用いた材料で打込み可能なRCCとするために必要な最少単位水量は、MSA 3 in (80mm)の場合180~190 Ib/cuyd (105~110kg)、MSA 1½ in (40mm)の場合で130~140 Ib/cuyd (76~83kg)である。これらの値は通常のスランブ2~3 in (5~8cm)のコンクリートの70~80%に相当する。

単位水量140~160 Ib/cuyd (83~95kg)のコンクリートで、材令120日の平均圧縮強さはそれぞれ3320 (233kg/cm²)~3230 psi (227kg/cm²)であった(表-9参照)。これらの値はEM 1110-2-2000⁽⁷⁾に示されている「貧配合マスコンクリート」の材令90

日の平均値より高く、また北太平洋地域の主なダム建設に用いたMSA 150mmの貧配合マスコンクリートに比して遜色のない値である。試験室で作成したRCCの材令120日の圧縮強さは、現場の面1のコンクリートC235-Oより採取した直径10in(25cm)のコアに対する平均値3280 psi(230kg/cm²)とほぼ同じであるといえよう。単位水量120 lb/cuyd(71 kg)のコンクリートは硬すぎてうまく締固めできなかった。このことは圧縮強さが低い(材令28日、120日でそれぞれ1520 psi(107kg/cm²), 1960 psi(138kg/cm²)) ことと、また供試体の外観が豆板状となっており、層の継目がはっきり判るようになっていたことから判断される。

第8章 結論と勧告

結 論

- a. 今回行った試験から、ここに採上げている新しい材料は現場で混合、打込み、締固めのできるものと判断される。
- b. トラックによる運搬、ブルドーザーによる敷ならしの間に生ずるおそれのある分離は、従来と違った機械や作業方法を採用することによって防ぐことができる。
- c. 配合の適切なRCCは、土を締固める方法で効果的に打込みできる。
- d. 前項の方法で打込んだ貧配合RCCの硬化した打継目について求めた透水性、付着性の値は、貧配合マスコンクリートを通常の方法で打込んだものの場合とほぼ等しい。
- e. 硬化した打継目の性状はMSA 1½ in(40mm)または¾ in(20mm)の敷コンクリート配合を用いることによって改善される。
- f. 良質の貧配合RCCの単位セメント量は通常の方法で打込む貧配合マスコンクリートの場合と同じ程度である。
- g. 質の悪い打継目がコア供試体中に見出されたのは、そのコンクリートの水量が不足で、適当に締固めできなかったためと考えられる。
- h. RCCの経済的にすぐれている点は、主として打込みコストが安いためで、必ずしもセメント量が少ないためではない。
- i. Vebe装置の載荷重を20 lb(9kg) ふやすことにより、RCCのようなノースランブコンクリートのコンシステンシーを効果的に測定できる。
- j. ノースランブコンクリートの配合のために、土を振動させる「相対密度」試験は役に立たない。

勸 告

室内試験や現場に於ける予備試験によって、RCCは新しい建設工法として採用できることが判った。だが大規模本格的なダム建設に応用する前に次のステップとして小規模な締切りダムや堤防にRCCを試みる必要があろう。RCCは石積工の代りに法面の保護にも使えよう。また自走式の敷き広げ、締固め機械の動けるようなのり勾配のシュート式余水吐のコンクリート床版ライニングにも使えよう。RCCの試験をするため適当な場所を探すことは、協力さえ得られれば可能であるとわれわれは考えている。

良質の配合を見出し、すぐれた工法を編出するために必要な室内の配合、管理試験を今後とも行なうよう勧告する。現場コアは、分離とかコンシステンシーの問題を十分評価できる小規模な構造物が採取すべきである。また硬化した打継目部の透水性や締固め度に必要なデータを得るためコアの試験を引続いて行う必要があろう。

参 考 文 献

1. Tynes, W. O., 'Feasibility Study of No-Slump Concrete for Mass Concrete Construction', Miscellaneous Paper No. C-73-10, October 1973, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Mississippi
2. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, 'Handbook for Concrete and Cement', August 1949 (with quarterly supplements), Vicksburg, Mississippi.
3. Office, Chief of Engineers, 'Civil Works Construction, Standard Guide Specifications for Concrete', CE-1401.01, pp. 17-20, April 1971, U.S. Government Printing Office, Washington, D. C.
4. Walz, Kurt, 'Determination of the Consistency of Concrete by the Compacting Ratio Method', Highway Research Record 2-18, Highway Research Board, 1968, pp. 18-21.
5. Office, Chief of Engineers, 'Engineering and Design, Laboratory Soils Testing', EM 1110-2-1906, Appendix Vi, November 1970, U.S. Government Printing Office, Washington, D. C.
6. Office, Chief of Engineers, 'Engineering and Design, Laboratory Soils Testing', EM 1110-2-1906, Appendix XII, November 1970, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
7. Office, Chief of Engineers, 'Engineering and Design, Standard Practice for Concrete', EM 1110-2-2000, pp. 4-6, Change 1, February 1972, U.S. Government Printing Office, Washington, D. C.

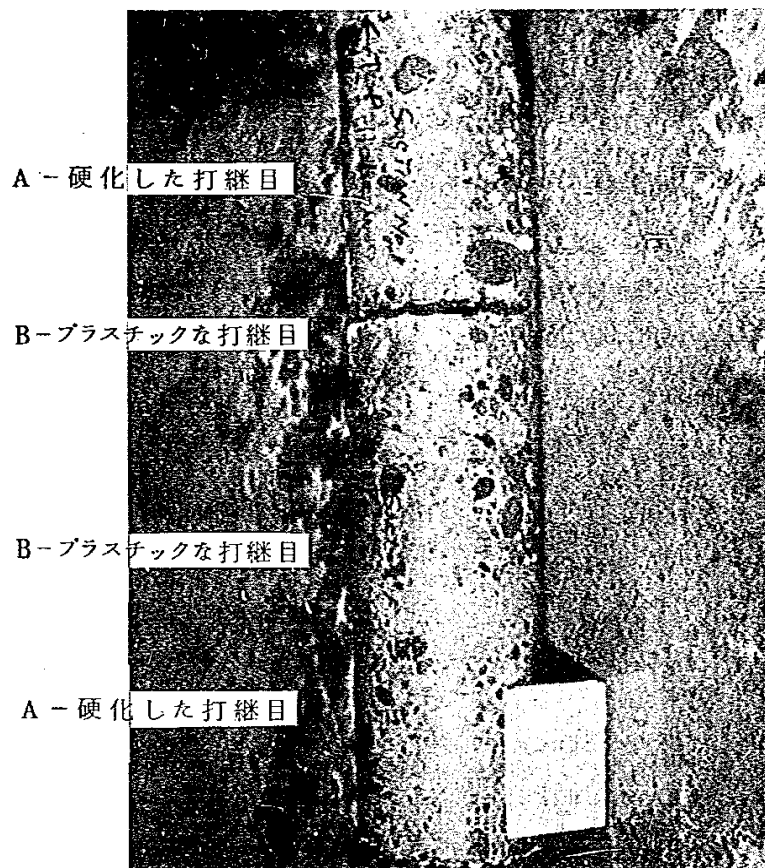


図-4 パネル板1から垂直に切りとったコマ。"A"は硬化した打継目上にMSA
40mmのコンクリートを置いたもの、"B"はプラスチックな打継目

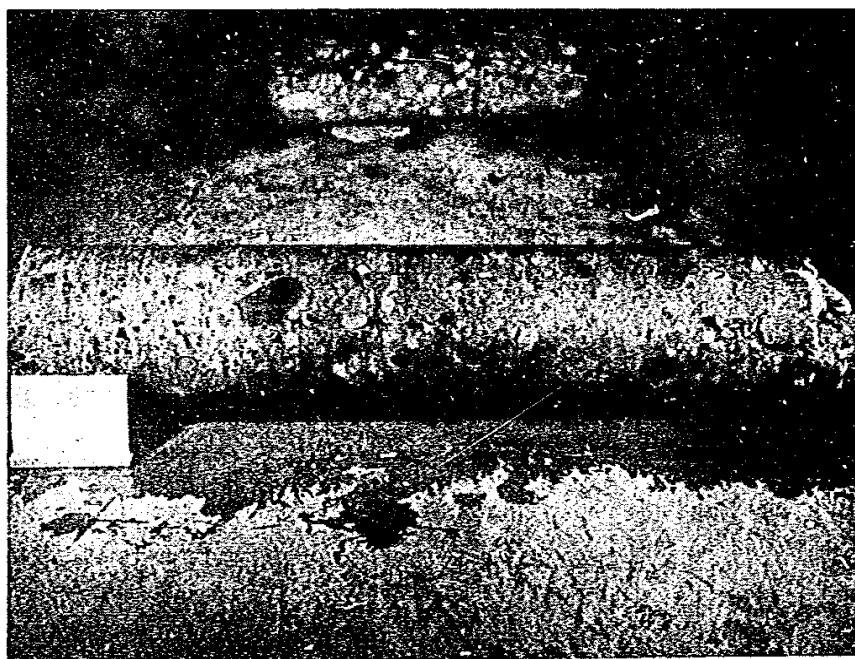


図-5 パネル板1の硬化した打継目に沿って水平にボーリングしたコア
(40mmMSA褥層部)

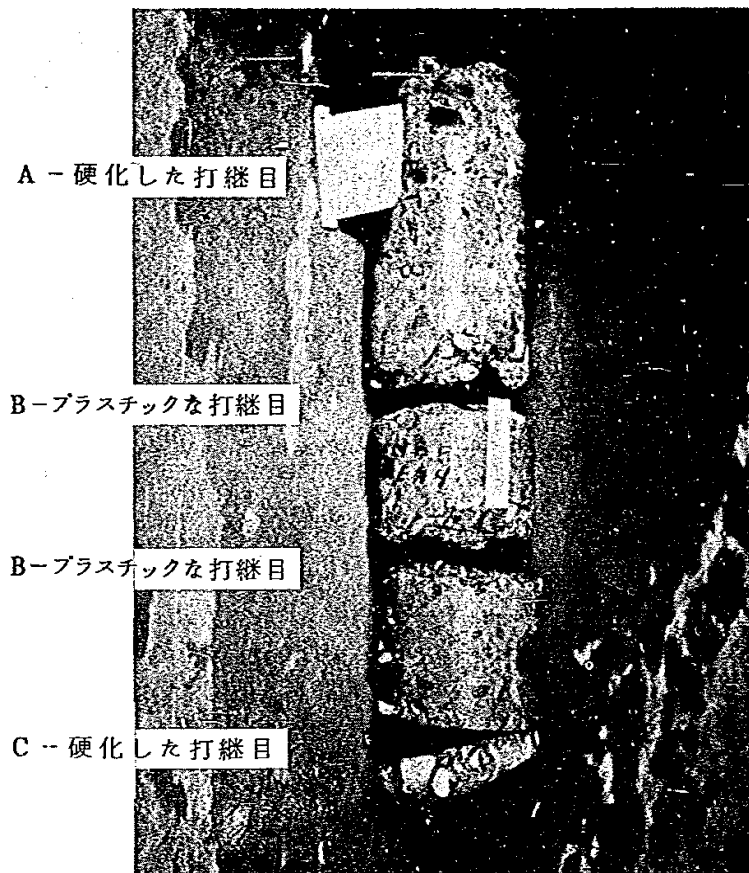


図-6 パネルNo.8より垂直に採取したコア。"A"は40mmMSAのコンクリートを用いたもの、"B"はプラスチックな打継目、"C"は40mmMSAの褥層用コンクリートを用いていない硬化した打継目、

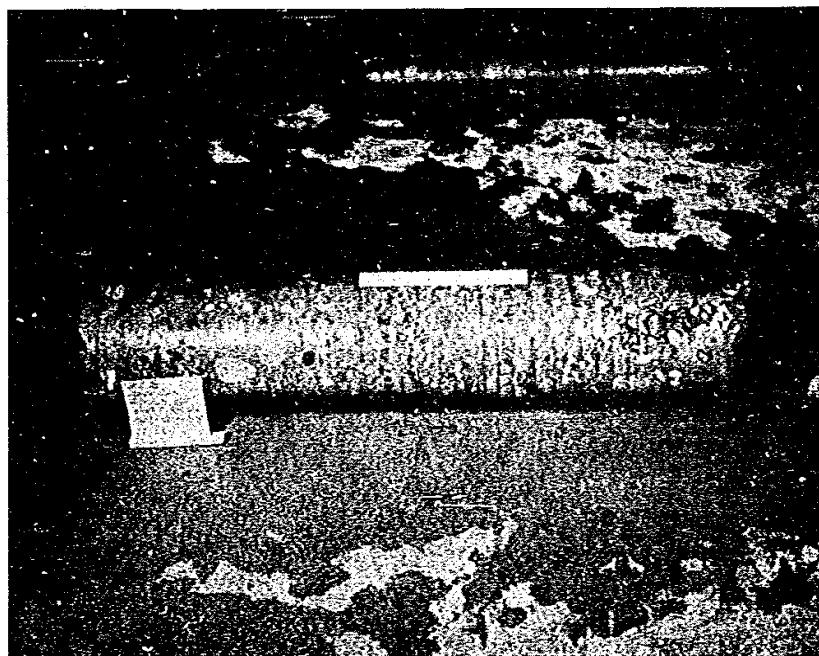


図-7 パネルNo.8の硬化した打継目部の水平ボーリングコア。40mmMSAの褥層は用いていない。右側の豆板状部分を除いて付着は良好である。



図-8 パネル板6の硬化した打継目部の水平ボーリングコア。褥層は用いていない。悪い例。



図-9 コアの回収の悪い例。パネル板3の南側より6個垂直ボーリングしたサンプル。

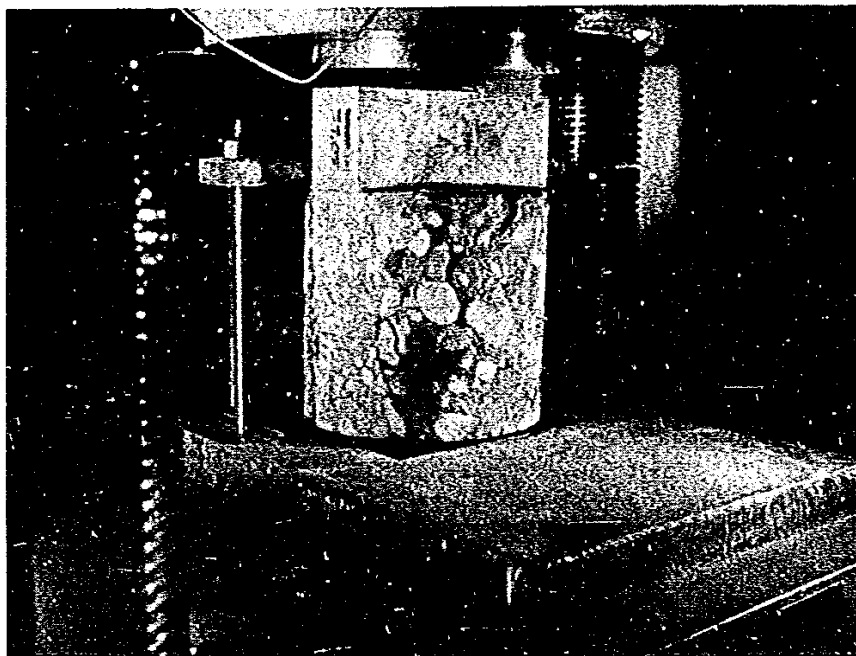


図-10 タテせん断試験の状況

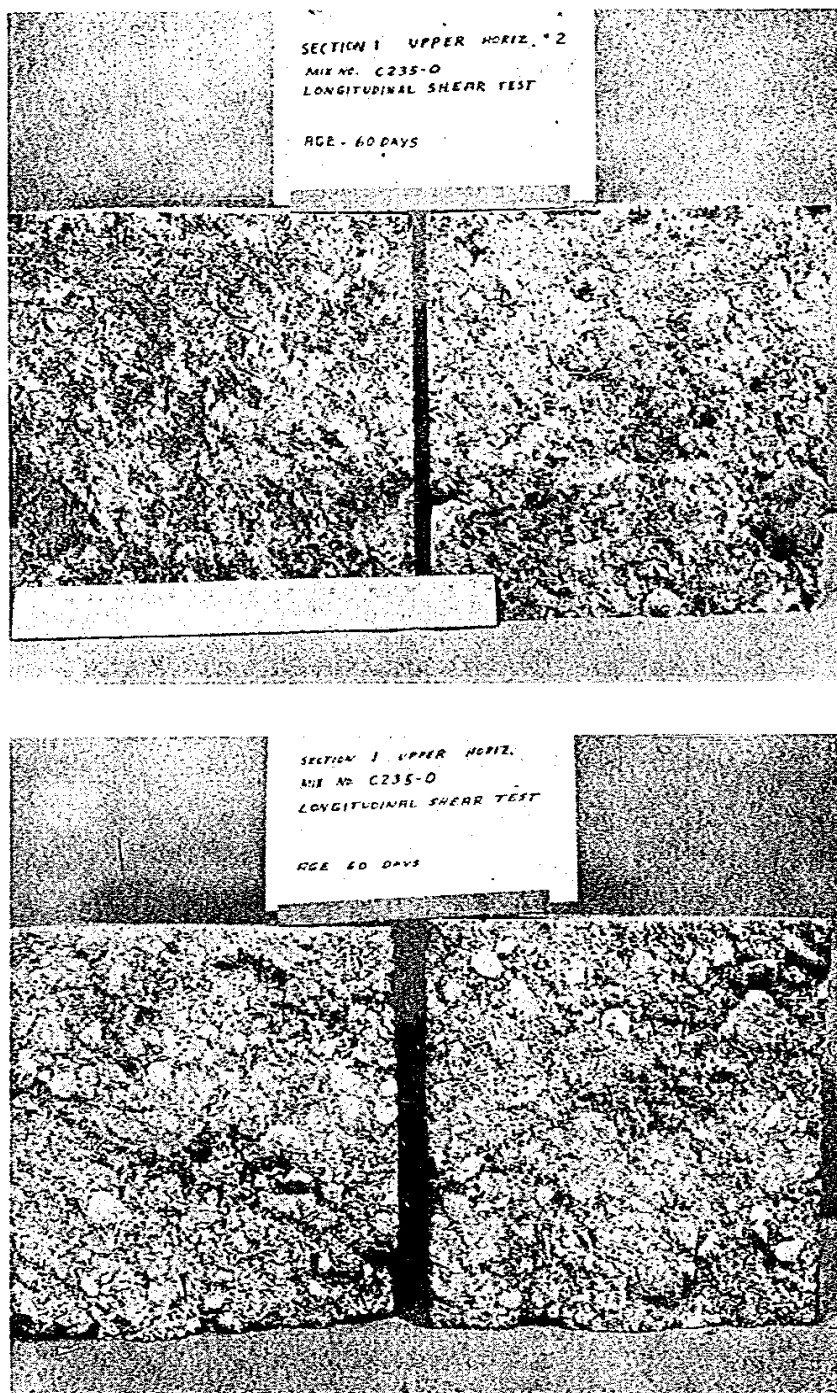


図-11 タテせん断試験後の供試体。上は付着のよい例(最大強度 2.9 Kg/cm^2)。下は悪い例(最大強度 2.5 Kg/cm^2)。いずれも40mm MSAの褥層の硬化した打継目に沿って採取したコアによる。

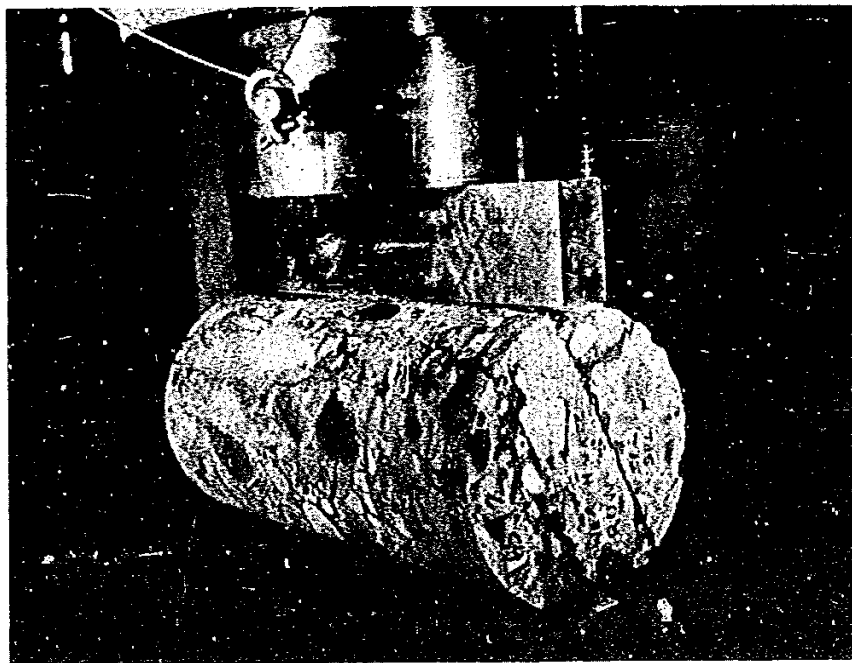


図-12 硬化した打継目の付着をみるために行なった直径25cmの水平コアの引張り係数試験。

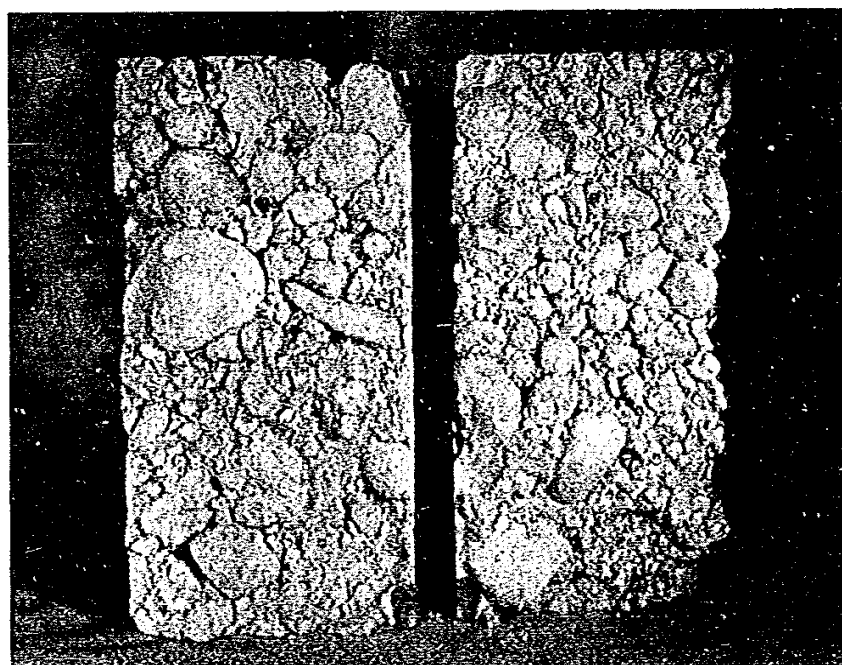


図-13 直径25cmのコアの引張り係数試験後の供試体。
上はよく締められ付着のよい例。下は悪い例。



図-14 直径25cmの垂直コアの圧縮試験

TO:		表-1 ボルトランドセメント の試験成績				FROM: CORPS OF ENGINEERS U.S. ARMY NPD Materials Laboratory Rt. 2, Box 12A Troutdale, OR 97060			
TEST REPORT NO. NPD9628		BIN NO. 9		HUNDRED WEIGHTS REPRESENTED: 68,000		DATE: 9 Apr 73			
SPECIFICATION: SS-C-192g(2), II, LA				DATES SAMPLED: 26 - 30 Mar 73					
COMPANY: Flintkote		LOCATION: Redding, CA				BRAND: Calaveras			
THIS CEMENT DOES MEET SPECIFICATION REQUIREMENTS									
サンプル番号	4	7	10	12	14	15			
SiO ₂ , %	21.7	21.7	21.8	21.7	22.0	22.1			
Al ₂ O ₃ , %	5.0	4.9	4.9	4.7	4.7	4.7			
Fe ₂ O ₃ , %	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1			
MgO, %	1.4	1.4	1.5	0.9	0.9	0.9			
SO ₃ , %	2.3	2.3	2.5	2.7	2.5	2.3			
強熱減量	0.6	0.9	0.7	1.6	1.4	1.2			
アルカリ -TOTAL AS Na ₂ O, %	0.42	0.42	0.38	0.28	0.21	0.21			
Na ₂ O, %	0.14	0.14	0.12	0.05	0.02	0.02			
K ₂ O, %	0.43	0.42	0.40	0.35	0.29	0.29			
不 溶 分 %	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2			
CaO, %	65.0	64.7	64.8	64.9	65.1	65.4			
C ₃ S, %									
C ₃ A, %	7.4	7.2	7.4	7.0	7.1	7.1			
C ₂ S, %	22	22	22	21	22	21			
C ₃ A+C ₃ S, %	62	61	61	62	62	63			
C ₄ AF, %	11	10	10	10	10	9			
C ₄ AF+2C ₃ A, %									
HEAT OF HYDRATION, 7D, CAL/G									
HEAT OF HYDRATION, 28D, CAL/G									
表 面 積 SQ CM/G (A.P.)	3380	3280	3330	3300	3320	3270			
空 気 分	7.6	8.0	7.6	8.0	7.6	7.6			
圧縮強度 1,3 D, Kg/cm ²	177	170	166	150	140	146			
圧縮強度 7 D, Kg/cm ²	240	231	220	200	206	207			
COMP. STRENGTH, D, PSI									
FALSE SET-PEN. F/I, %									
サンプル番号	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15	
オートクレーブ EXP., %	-0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	0.07	0.08	0.09	
凝結、始発 HR/MIN	3:15	3:10	3:20	3:15	3:10	3:20	3:15	3:10	
終 結 HR/MIN	5:00	4:55	5:05	5:00	4:55	5:05	5:00	4:55	
SAMPLE NO.									
AUTOCLAVE EXP., %									
INITIAL SET, HR/MIN									
FINAL SET, HR/MIN									
REMARKS: W/C Ratio: ベースト = .242; モルタル = .485 アルカリは光学法によった。									
THE INFORMATION GIVEN IN THIS REPORT SHALL NOT BE USED IN ADVERTISING OR SALES PROMOTION TO INDICATE EITHER EXPLICITLY OR IMPLICITLY ENDORSEMENT OF THIS PRODUCT BY THE U.S. GOVERNMENT.									
s/t FRANK N. WINBLADE for O. E. BERGE, Acting Director									

表-4 細、粗骨材の物理試験結果と粒度

物 理 性 状	細 骨 材			
		5 ㎖ ~ 20 ㎖	20 ㎖ ~ 40 ㎖	40 ㎖ ~ 80 ㎖
カ サ 比 重		2.76	2.69	2.67
吸 水 率		1.2	2.0	1.8
粗 粒 率		2.81	—	—

フ ル イ 目	通 過 百 分 率 (%)			合 成 粒 度
	合成率 (%) 使用した)	40	28	32
100 ㎖				100
80 ㎖				92
50 ㎖			100	31
40 ㎖			97	6
25 ㎖		100	44	0
20 ㎖		95	8	
15 ㎖		—	—	—
10 ㎖		27	1	11
5 ㎖	99	2		1
2.5 ㎖	85			
1.2 ㎖	64			
0.6 ㎖	42			
0.3 ㎖	22			
0.15 ㎖	7			

表 - 5 コ ン ク リ ー ト 配 合 表

配合番号	1	*2	*3	4	5	6	7	9	10	11	12	13
配 合 (Kg)												
単位セメント量	139	139	14	42	69	71	56	50	297	56	65	326
単位フライアッシュ量	—	—	44	78	56	—	—	—	—	—	23	—
単位ポゾラン	—	—	—	—	—	53	107	89	—	44	—	—
単 位 水 量	83	95	83	83	83	83	83	83	113	83	71	133
単位細骨材量	676	644	736	676	676	676	629	653	730	700	759	801
5 mm ~ 20 mm	641	481	481	641	641	641	641	641	801	641	641	1,175
20 mm ~ 40 mm	451	481	481	451	451	451	451	451	540	451	451	—
40 mm ~ 80 mm	510	641	641	510	510	510	510	510	—	510	510	—
水 / (セメント + ポゾラン)	0.60	0.68	1.41	0.69	0.67	0.67	0.51	0.60	0.38	0.82	0.81	0.41
細 骨 材 率	30%	29%	31%	30%	30%	30%	28%	29%	35%	30%	32%	41%
配合試験にのみ用いた												

表-6 パネル番号毎の打設日付、層厚、締固め方法

パネルNo	配合No	日付	層厚 (cm)	締固め機械と転圧回数
1	1	5月15日(火)	20	CC-42A; 4回
1	10	5.16(水)	7.5	転圧なし; 褥層をドーザで敷均す。
1	1	5.16(水)	15	CC-42A; 4回
1	1	5.16(水)	20	CC-42A; 4回
1	1	5.16(水)	20	CC-42A; 4回
1	1	5.17(木)	7.5	転圧なし; 褥層をドーザで敷均す。
1	1	5.17(木)	20	CC-42A; 4回
2	5	5.15(火)	20	CC-42A; 4回
2	5	5.16(水)	15	CC-42A; 4回
2	5	5.16(水)	20	CC-42A; 4回
2	5	5.16(水)	20	CC-42A; 4回
2	5	5.17(木)	20	CC-42A; 4回
3	4	5.15(火)	20	CC-42A; 4回
3(No)	4	5.17(木)	15	CC-42A; 4回
3(No)	4	5.17(木)	20	CC-42A; 4回
3(So)	12	5.17(木)	15	CC-42A; 4回
3(So)	12	5.17(木)	20	CC-42A; 4回
5	9	5.15(火)	20	CC-42A; 4回
5	9	5.18(金)	15	CC-42A; 4回
5	9	5.18(金)	20	CC-42A; 4回
6	7	5.15	20	東側 1/3 は CA-25 ; 4回 西側 2/3 は CA-42A; 4回
6	7	5.18	15	CC-42A; 4回
6	7	5.18	20	CC-42A; 4回

パネルNo	配合No	日付	層厚 (cm)	締固め機械と転圧回数
7	11	5月15日(火)	20	CC-42A; 4回
7	10	5. 1 7 (木)	7.5	転圧なし; 褥層をドーザで敷均す。
7	11	5. 1 7 (木)	15	CC-42A; 4回
7	11	5. 1 7 (木)	20	CC-42A; 4回
7	11	5. 1 7 (木)	20	CC-42A; 4回
7	10	5. 1 8 (金)	7.5	転圧なし; 褥層をドーザで敷均す。
7	11	5. 1 8 (金)	20	CC-42A; 4回
8	6	5. 1 5 (火)	20	東側 1/3 はCC-42A; 4回 西側 2/3 はCA-25 ; 4回
8	6	5. 1 7 (木)	15	CC-42A; 4回
8	6	5. 1 7 (木)	20	CC-42A; 4回
8	6	5. 1 7 (木)	20	CC-42A; 4回
8	13	5. 1 8 (金)	7.5	転圧なし; 褥層をドーザで敷均す。
8	6	5. 1 8 (金)	20	CC-42A; 4回

NOTE: (No) パネルの北半分

(So) パネルの南半分

表 - 7 コアの回収割合

パネル		1	2	3-N	3-S	5	6	7	8
		1 (C235-0)	5 (C235-50)	4 (C235-70)	12 (C160-30)	9 (C120-30 PS)	7 (C325-70P)	11 (C100-50P)	6 (C235-49P)
配 合									
垂 直 コ ア									
コアの採取		3							
コアボーリングの長さ	m	39.3	39.2	12.7	12.0	12.1	12.6	36.8	37.8
回収できた長さ	m	36.4	34.7	10.2	7.5	8.1	7.4	30.3	26.0
回 収 割 合	%	93	89	80	62	67	59	82	69
継目付着割合									
付着しているもの	%	75 (1)	53	75	8	42	25	57	36
(1) 打 継 目		7 (1)	43	0	42	25	25	20	28
(2) プラスチック継目		18	4	25	50	33	50	23	36
供 試 体 数									
(1) ヨコせん断		4	4	*	*	*	*	4	4
(2) タテせん断		3	3	*	1	*	1	3	2
(3) 引張り係数		3	3	3	*	3	*	3	3
(4) 圧 縮		3	3	3	2	3	1	3	3
(5) 透 水		4	4	**	**	*	2	2	4
水 平 コ ア									
コアの採取									
コアボーリングの長さ		25.6	23.6	11.1	No drilling	15.4	12.8	23.2	28.0
完全なコア		21.5	6.2	5.7	*	10.4	0	22.8	22.6
完全なコアの割合	%	84	26	51	*	68	0	98	81
供 試 体 数									
(1) 引張り係数		4	1	3	*	2	x	4	3
(2) タテせん断		4	2	*	*	2	x	4	3
(3) 透 水		6	2	**	*	**	x	4	6

注(1) 打継目上に40mmMSAコンクリートを置いた打継目。

(2) 最初の20cm厚の層に配合4 (C235-70)をおいた。しかし、完全なコアが採取できなかったためデータからは除いた。

(3) 20mmMSAの褥層を2つの打継目のうちの1つに用いた。打継目部の28%が破壊した。うち25%は普通の打継目で、3%は褥層を用いた打継目である。

* これらの試験はこのパネルでは予定しなかった。

** コアの回収状態が悪く、供試体ができなかった。

表 - 8 コアの試験結果

パネルNo	1	2	3-N	3-S	5	6	7	8
配合	1 (C235-0)	5 (C235-50)	4 (C235-70)	12 (C160-30)	9 (C120-30PS)	7 (C325-70P)	11 (C190-50P)	6 (C235-49P)
垂直コア								
セメント	140	69	42	65	50	56	55	71
フライアッシュ	None	55	78	None	None	None	None	None
Cal. Shale,	None	None	None	None	89	107	45	53
水 量	83	83	83	71	83	83	83	83
単位重量								
理論	2,500	2,486	2,481	2,507	2,476	2,476	2,484	2,486
実 際	2,504	2,499	2,491	2,454	2,464	2,443	2,488	2,481
圧縮強度	230	182	163	112	201	162	123	200
引張り係数	27	19	17	*	17	*	18	20
タテせん断強度	63	39	*	30	*	27	36	35
ヨコせん断強度	33	46	*	*	*	*	39	10
透水係数 $\text{cm/sec} (\times 10^{-11})$	36	270	**	**	**	*	87	420
$\text{cm/年} (\times 10^{-3})$	11.4	85.2	**	**	**	*	28.2	132.0
水平コア (硬化した打継目に沿ったもの)								
引張り係数	14	9	7	*	8	*	22	17
タテせん断試験	28	14	**	*	10	**	24	37
透水係数 $\text{cm/sec} (\times 10^{-11})$								
$\text{cm/年} (\times 10^{-3})$								
上 限	1,047	***	*	*	*	*	1,110	210
下 限	51	***	*	*	*	*	***	39
上 限	330.0	***	*	*	*	*	349.5	66.9
下 限	16.5	***	*	*	*	*	***	12.6

- (1) すべての供試体は直径 2.5 cm、ヨコせん断と透水試験は直径 1.5 cm。
 (2) 強度試験は材令 120 日、透水試験の材令は約 7 ヶ月。
 (3) 最初の 2.0 cm 厚の層に配合 No. 4 (C235-70) をおいた。しかし、完全なコアが採取できなかったため、データからは除いた。
 (4) 硬化打継目に沿って試験した。
 * これらの試験はこのパネルでは予定しなかった。
 ** コアの回収状態が悪く、供試体ができなかった。
 *** 試験中止。

表-9 室内管理試験

配合比 C-235-O-80 MSAコンクリート

1. <u>単位水量: Kg/m³</u>	95			83			71
2. <u>空 気 量 %</u>	試験 1 2.3	試験 2 —	試験 3 4.8	試験 1 3.2	試験 2 5.0	試験 3 4.5	(2)
(平 均)	(3.6)						
3. <u>締 固 め 比 %</u>	1.41	1.33	—	—	—	—	—
(平 均)	(1.37)						
4. <u>コンシステンシー</u>							
a. 標準載荷 (3.4Kg)	39	27	38	295	155	420	300 ⁽²⁾
(平 均)	(34.7)			(290)			
b. + 9 Kg 載荷 (12.5 Kg)	19	15	18	77	66	36	300 ⁽²⁾
(平 均)	(17.3)			(59.7)			
5. <u>最大密度 gr/cm³</u>	2.425	2.411	2.436	2.332	2.315	2.446	2.177
(平 均)	(2.424)			(2.364)			
6. 含 水 比	6.9	7.2	6.7	6.1	6.4	6.6	5.2
(平 均)	(6.93)			(6.37)			
7. <u>乾燥密度 gr/cm³</u>	2.315	2.289	2.329	2.235	2.212	2.340	
(平 均)	(2.311)			(2.262)			
8. <u>圧縮強度</u>							
a. 締固め時間、分 (5.7Kg)	1:40	1:15	1:00	1:20	1:30	1:40	3:00
(平均)	(1:18)			(1:30)			
b. 圧縮強度 Kg/cm ²	86 —	97 81	94 98	86 103	94 94	94 101	81
7 日 (平均)	(91)			(95)			
c. 28日	179 —	167 165	200 213	185 174	172 189	193 197	107
(平均)	(2.630)			(2.640)			
d. 120日	209 —	199 226	220 273	231 235	219 233	257 226	138
(平均)	(227)			(233)			

注 (1) 単位水量 95、83 Kg の供試体はよく締固まっていた。71 Kg の供試体は層の境界に豆板がありよく締固まっていない。

(2) 締固めるには水量が少なすぎる。締固め中プラスチックな状態にはならなかった。

(3) 締固め中ブリージングを起し、水分が逃げた。

報 告 管 理 資 料

1. 研究機関		2 a 報告分類
		2 b 区 分
3. 報告書名		
4. 内 容		
5. 責 任 者		
6. 作 成 日	7 a ページ数	7 b 参考文献数
8 a 契約番号	9 a 元報告書番号	
8 b 計画番号	9 b 別分類報告書番号	
10. 資料配布		
11. 予備記述	12. 依 頼 書	
13. 要 約 オレゴン州トレイルのロストクリークダムで、1973年5月13～18日に最大骨材3 in (7.6 cm) (MSA) 配合のコンクリートが振動ローラーを用いて締固めることが計画された。管理配合は235 lb/cvyd (140 kg) の単位セメント量であり、他の配合は一部をボズラン外フライアッシュ又は現地で得られる焼成けつ岩で置換えた。これらの配合は99～275 lb/cvyd (59 kg～163 kg) の単位セメント量である。さらに、他のふたつの配合(1½ in (3.8 cm) および¾ in (1.9 cm) (MSA) を固めた施工継目に使用する3 in (7.6 cm) の立上がりコンクリートおよび敷コンクリートとして設計した。 敷コンクリートを除いて、各層のてん圧後の厚さは凡そ8 in (20 cm) である。 室内管理試験は北大平洋局試験所で行なった。野外実験ではCRD-C2 (ACI 211-65) に記されているVebe 装置はうまくいかなかった。室内試験では20 lb (9 kg) の追加載加を行ない、その結果は満足すべきものであった。管理試験用円筒供試体の作製方法を述べている。管理試験のための土質てん圧試験方法も検討されている。 適切な配合のローラー転圧コンクリートは、振動ローラーを用いての土質てん圧方法で効果的に打設することができることが結論づけられた。ボーリングコアの試験結果によると、透水性および付着性については従来の方法で打設された貧配合マスコンクリートの値とほぼ同じであることがわかった。固結した継目は敷コンクリート配合を用いることによってその性質を改善することができた。改良Vebe 試験装置は管理試験および円筒供試体作製に用いることができる。		

(資料 3)

ノースランプコンクリートのマスコンクリート施工における可能性の研究

W.O. Tynes

1973年10月

依 頼：米国陸軍工兵隊 ポートランド事務所
担 当：米国陸軍工兵隊 水路試験研究所
コンクリート研究室

ま え が き

ここに報告する研究は米国陸軍工兵隊ポートランド事務所から1972年8月3日付DA書式2544によって依頼されたものである。

研究はコンクリート研究室長 Bryant Mather 氏監督のもとに1972年8月から1973年4月の間にミシシッピ州、ヴィックスバーグの米国陸軍工兵隊水路試験研究所(WES)コンクリート研究室で行なわれた。研究に関係したコンクリート研究室の主たるスタッフはJ. M. Polatty, W. D. Tyneo, K. L. Sancier, およびW. B. Lee の諸氏である。

Tyneo 氏は計画の指導者でこの報告書の執筆者である。ポートランド事務所および北太平洋局からの研究参加者はDonald H. Basgen, Donald J. Hall, Donald L. Houghton と、およびミズリー河地区の Thoma J. Keaduig の諸氏である。この報告書の校閲にたずさわった Basgen Houghton および Hall の諸氏に感謝する。

この研究、および報告書の準備、刊行についてWESの指揮者はBG E. D. Peixotto, CE, および COL G. H. Hilt, CE である。技術の指揮者はF. R. Brown 氏である。

概 要

ノースランブコンクリートの配合は3種で、そのうち2種は最大骨材寸法が $4\frac{1}{2}$ " (11.4cm) 1種が3" (7.6cm) である。使用骨材は石灰岩の碎石、セメントはタイプIのポルトランドセメントで使用量は255 lb (150 kg/m³) である。水セメント比は数種とする。

ノースランブコンクリートの試験は1972年12月にWESで実施された。試験用コンクリートは1972年12月4～6日の3日間の試験に十分なように打ち込まれた。リフト高の異なる2ヶ所の試験区画を15 ft (4.6 m) 幅のコンクリートスラブの上に作製した。最大骨材寸法が $4\frac{1}{2}$ " (11.4cm) と3" (7.6cm) のコンクリートを打設したが、この際の水平継目は同一日に連続して打つ場合と1½日から2日の間を置いて打つ場合にわけた。

コンクリートは半自動プラントで計量し、2 yd³ (1.5 m³) の可傾式ドラムミキサーで混合した。混合したコンクリートは5 yd³ (3.5 m³) のトラックで運搬し、ブルドーザで敷ならし、11 t の自走式振動ローラで転圧した。

3日間の試験の結果、マスコンクリートでのノースランブコンクリートの混合、運搬、撤き出し、敷ならし、締固めの可能性は十分実証された。

ボーリングコア供試体の試験結果から、コンクリートの単位重量および強度特性を見ると、ローラ締固め技術を十分用いることができることがわかった。

ノースランブコンクリートのマスコンクリート 施工における可能性の研究

第1部 序 論

背 景

1. コンクリートダムの建設費は年々高くなっている。最近のよくいわれることは、もし現在の慣例となっているマスコンクリート打設法を変えることができるならば建設費をかなり削減することができるだろうということである。そのうちひとつの提案は、ノースランブコンクリートを使用し、コンクリートをブルドーザーで敷ならし外部から振動ローラーを用いて締固めるといった新しい方法を用いることが可能であれば、著しいコスト低下をはかれるに違いないということである。
2. 15 t振動ローラーによる土質締固め法を用いた予備的実験の結果はT.V.Aによって報告されている。(1)限られた結果ではあるが将来性のあることを示していた。
3. この調査は、Elk Creek Lakeのダムと余水吐構造物に関して屋外での技術的評価の研究として米国陸軍工兵隊ポートランド事務所のために実施された。

目 的

4. この研究の目的は、マスコンクリート構造物用に最大骨材寸法 $4\frac{1}{2}$ " (11.4cm) または、3" (7.6cm) のノースランブコンクリートとこのコンクリートを締め固めるのに11tの振動ローラーを採用することの可能性を求めることであつた。

室内試験概況

5. この試験は、235 lb (150kg/m³) のタイプIポルトランドセメントを使用し、最大骨材寸法 $4\frac{1}{2}$ " の石灰岩の骨材を用いるノースランブコンクリートの配合をもとめるための予備的な室内試験である。

野外試験概況

6. 野外試験では、リフト厚を変えてコンクリートスラブの上にふたつの試験区画を打込んだ。各々のリフトはブルドーザでならし、11tの振動ローラーで転圧した。強度と透水試験のために試験区画からコアを穿孔した。

第Ⅱ部 材料，配合，実験用供試体

材 料

ポルトランドセメント

7. ミシシッピー製のタイプⅠ ポルトランドセメント (RC-670) を全配合に使用した。
セメントの化学的および物理的特性は表1に示す。

表—1 ポルトランドセメントの化学的，物理的性質

<u>化学的性質</u>	
SiO ₂ , %	20.6
Al ₂ O ₃ , %	5.1
Fe ₂ O ₃ , %	4.1
CaO , %	64.6
MgO , %	1.7
SO ₃ , %	2.3
強熱減量, %	1.1
不溶分, %	0.1
Na ₂ O, %	0.12
K ₂ O, %	0.22
総アルカリ量Na ₂ O	0.26
C ₃ A	6.6
<u>物理的性質</u>	
粉末度, 比表面積 cm ² /g	3680
圧縮強度, kg/cm ²	88
3日	122
7日	

骨 材

8. 石灰岩の細骨材 (CRD. MS-26) および粗骨材 (CRD. G-40, CRD G-40(2)) はアラバマ産である。細骨材および標準寸法の粗骨材は CE-1401.01⁽²⁾ の規定に合格している。3" (7.6cm) ~ 4½" (11.4cm) の粗骨材は現行の粒径分布示様書に規定がない。骨材の物理的性質と粒径分布は表-2 に示されている。最大骨材寸法 4½" (11.4cm) の骨材区分は ¾" (1.9cm), ¾" (1.9cm) ~ 1½" (3.8cm), 1½" (3.8cm) ~ 3" (7.6cm), 3" (7.6cm) ~ 4½" (11.4cm) である。各骨材区分での扁平および細長い物質の混入率は, CE-1401.01⁽²⁾ の規定に合格している。

室内試験配合

9. 室内試験での予備的コンクリートの配合は, ノースランブで最大骨材寸法 4½" (11.4cm) 235 lb (150kg/m³) のセメント使用量で重量比 0.44 の水セメント比である。

野外試験配合

10. 屋外試験のゼロスランブコンクリートは最大骨材寸法 4½" (11.4cm) 重量で水セメント比が 0.53, 0.57, 0.61 である。水セメント比 0.62, 0.64 の配合を追加し, このときの最大骨材寸法は 3" (7.6cm) である。この場合もゼロスランブである。5 種類の配合をスランブについて試験し, どの配合が最もよく締固まるかを定めるため, 転圧した。表-3 にこれらすべてについて配合表を示す。
11. これらの予備配合の中から, 試験区画に用いるものとして 3 つを選んだ。その配合表と, 試験区画への配置は次に表示される。

配合名	水セメント比 (重量による)	骨材最大寸法	配 置	
			区 画	リフト
1 *	0.53	4½" (11.4cm)	1	1
2	0.57	4½" (11.4cm)	2	1
2	0.57	4½" (11.4cm)	2	2
2	0.57	4½" (11.4cm)	2	3
3	0.62	3" (7.6cm)	1	2
3	0.62	3" (7.6cm)	1	3

* 断面 1, リフト 1 の打込みでこの配合は適切に締固まらず, 調整するべきであることが観察された。この配合と硬化した打継面について報告している試験結果はこの観察を立証している。

表-2 砂および碎石粗骨材の物理的性質および粒度分布

		粗 骨 材				
		№4 to 3/4 in. CRD (№4~1.9cm) C-40 (2)	3/4 to 1-1/2 in. CRD (1.9~3.8cm) C-40 (2)	1-1/2 to 3 in CRD (3.8~7.6cm) C-40 (2)	3 to 4-1/2 in. CRD (7.6~11.4cm) C-40 (2)	
砂	CRD MS-26					
物理的性質						
カサ比重						
(表面乾燥飽和)	2.71	2.74	2.74	2.74	2.74	
吸水率	0.5	0.3	0.5	0.4	0.3	
細粒率 (FM)	2.84	—	—	—	—	
偏平および細長比率%	—	8.3	2.8	0.6	0.6	
						合成粒度 最大 4 1/2 in (11.4cm)
フルイ目	通 過 百 分 率					
4-1/2 in. (11.4)					97	99
4 in. (10.1)					75	94
3 in. (7.6)				95	30	82
2 in. (5.1)				40	7	64
1-1/2 in. (3.8)			98	10	3 3	55
1 in. (2.5)			42	5		38
3/4 in. (1.9)		97	10			26
1/2 in. (1.3)		48	3			13
3/8 in. (0.95)		22	2			5
№ 4	100	4	2			
№ 8	95					
№ 16	60					
№ 30	34					
№ 50	18					
№ 100	8					

* 合成粒度で用いた百分率はつぎのとおり: №4 to 3/4 in. (№4~1.9cm) 24%: 3/4 to 1-1/2 in. (1.9~3.8cm) 30%: 1-1/2 to 3 in. (3.8~7.6cm), 21%: 3 to 4-1/2 in (7.6~11.4cm)

表-3 配合表および生コンクリートの試験結果

配合 No	最大骨材 in. (cm)	単位セメント量 1 b/cu yd (Kg/m ³)	水セメント比		単位水量 1 b/cu yd (Kg/m ³)	細骨材料 %	単位骨材量		スランプ in. *
			量	重量			1 b/cu yd (Kg/m ³) 砂	細骨材	
1	4-1/2 (11.4)	235 (140)	1.67	0.53	125.0 (74.1)	28	1170 (694)	2930 (1737)	0
2	4-1/2 (11.4)	235 (140)	1.81	0.57	135.0 (80.8)	26	1040 (617)	2991 (1774)	0
3	3 (7.6)	235 (140)	1.94	0.62	145.0 (86.0)	29	1151 (683)	2350 (1690)	0
4 **	4-1/2 (11.4)	235 (140)	1.39	0.44	103.4 (61.3)	24	980 (581)	3120 (1850)	0
5 **	4-1/2 (11.4)	235 (140)	1.94	0.62	145.0 (86.0)	26	1032 (612)	2971 (1762)	0
6 **	3 (7.6)	235 (140)	2.01	0.64	150.0 (89.0)	29	1148 (681)	2841 (1685)	0

* One test.

** Trial mixes.

室内試験供試体製作

12. 転圧されたコンクリートの現位置での強度をまねるために、ノースランブコンクリートで 6" (15cm) × 12" (30cm) 供試体をつくる方法を定めた。最大骨材寸法 4 1/2" (11.4cm) の配合のうち 1 1/2" (3.8cm) の部分を使用したコンクリートを 7 つの方法で試験した。このときの水セメント比は 0.44 である。

つぎに示す 7 つの方法の試験のために各々 2 ケの供試体を製作した。

1. マーシャルハンマ, 3 層, 各層 12 回落下
2. 土質締固めハンマ (5 1/2 lb 2.5kg), 3 層, 各層 12 回落下
3. 土質締固めハンマ (10 lb), 3 層, 各層 12 回落下
4. ジャックハンマ, 底部で 2 1/2" (6.4cm), 3 層, 1 層 20 秒
5. ジャックハンマ, 底部で 2 1/2" (6.4cm), 2 層, 1 層 20 秒
6. ジャックハンマ, 底部で 5" (12.5cm), 3 層, 1 層 20 秒
7. ジャックハンマ, 底部で 5" (12.5cm), 2 層, 1 層 20 秒

13. 各方法による供試体の平均強度は次に示される。

<u>工程番号</u>	<u>試験材令(日)</u>	<u>圧縮強度(psi)</u>
1	7	2560(172kg/cm ²)
2	7	1610(113)
3	7	2590 181
4	7	2570 180
5	7	2610 183
6	7	3720 260
7	7	3050 214

これらの方法のうち4つ, 2, 4, 6, 7が野外試験用に選択した。

第Ⅲ部 設備, 試験区画, 現場供試体

設 備

振動ローラー

14. この試験で用いた自走式振動ローラーは市販のものを用了。長さ207' (526cm) 幅93' (236cm), 高さ82' (205cm) である。振動ドラムの直径は60' (152cm) で幅は84' (213cm) である。全重量22,000lb (10t) のうち静的ドラム荷重は12,500lb (5.7t) トラクタの重量は9,500lb (4.3t) である。ドラムと動輪の両方に動力が伝えられるように機械を工夫した。ドラムローラーは可変振動で, その最大は1700vpm にセットされ, 44,000lb (20t) の遠心力駆動を伝達することができる。この試験では最高振動数(1700vpm) だけを用いた。このローラーはまた, 最大15mph (24km/h) まで種々の速度調節ができる。

15. 転圧に先だって試験区画の各リフトのコンクリートの撤出し, 敷ならしにD-6ブルドーザを使用した。

16. 容量2yd³ (1.5m³) の半自動パッチャーが試験区画に隣接して設けられた。

試験区画

区 画

17. 前以て設けられた幅15' (4.6m), 厚さ6' (15cm) のコンクリートスラブの上に2つの試験区画を施工した。ひとつの区画は大略の寸法を図に示すように3リフトで打設した。最初のリフトは重量による水セメント比0.53 で最大骨材寸法4½' (11.4cm) の配合のものである。打込みはつぎのようにして行なった。スラブの上に2yd³ (1.5m³), 1パッチのコンクリートを運搬し, 荷卸しするのにダンプトラックを使用した。5パッチ (10yd³, 17.5m³) のコンクリートをスラブの上に卸した後 (図-3参照), フロントエンドローダーで撤き出しと, 敷ならしを行なった。敷ならし後の厚さは約8' (20cm) である。オ一段のコンクリートの上につぎの5パッチ (10yd³, 7.5m³) を置いた。それをD-6ブルドーザで厚さ約15' (38cm) になるように (図-4参照) コンクリートの撤出しと敷ならしをした。その後の施工ではフロントエンドローダーはやめてブルドーザだけで材料の敷均しをした。最終の敷均しの後, 11tの自走式振動ローラーを次のように使った。1.8mph (2.9km/h) の速度, 1700vpm で中心を2回通過, 1.0~1.2mph (1.6~1.9km/h) の速度, 1700vpm

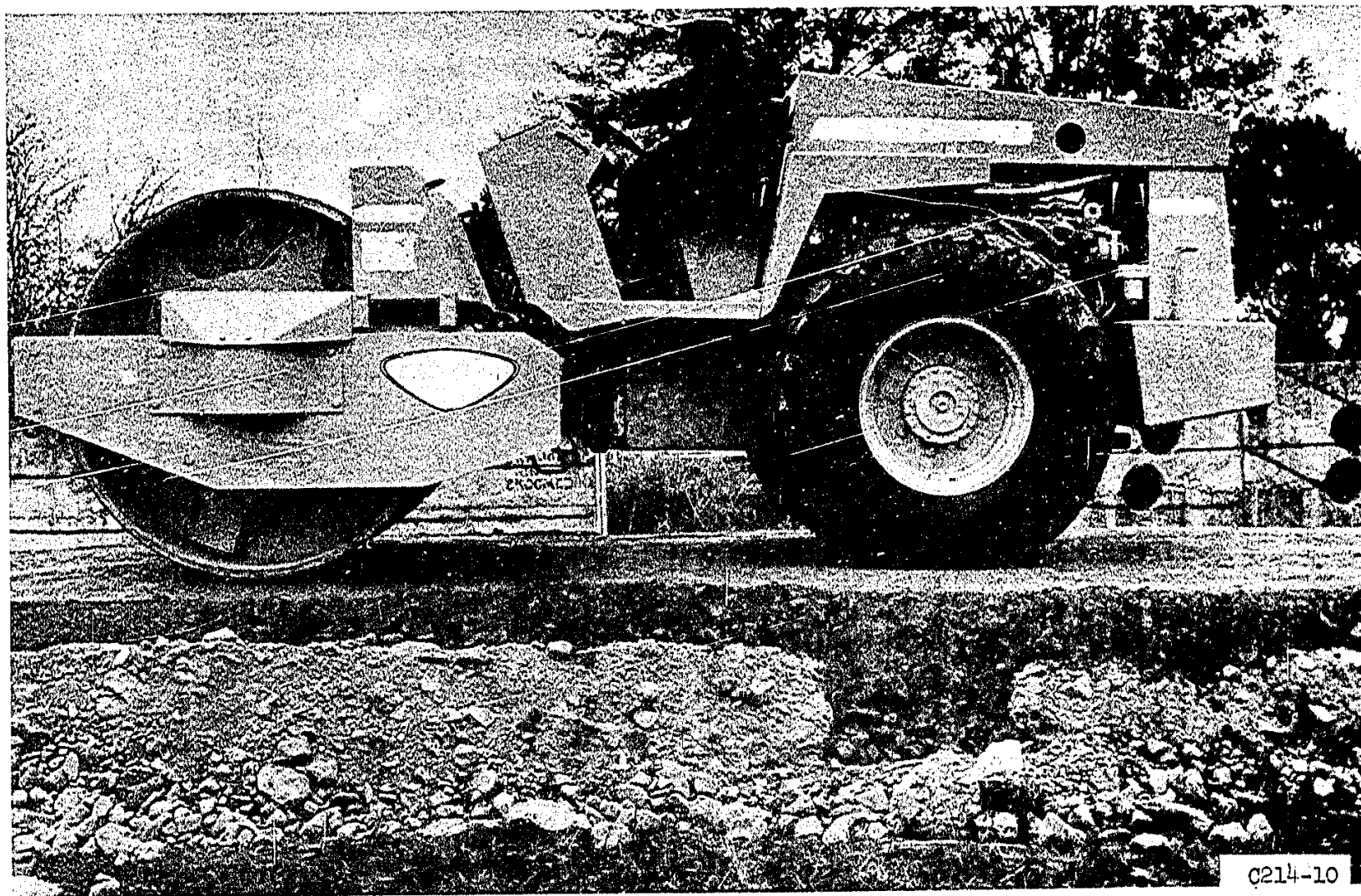
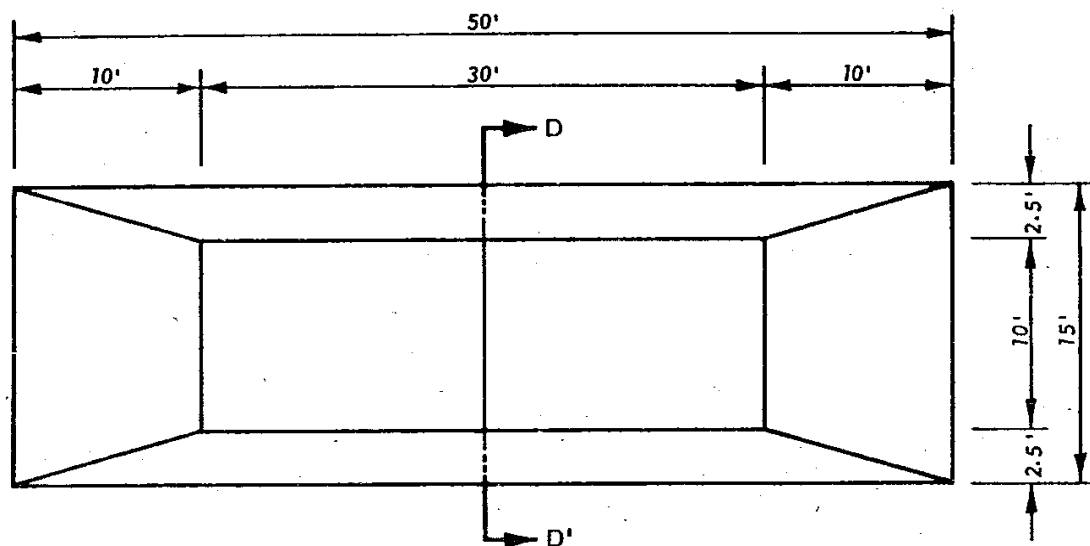
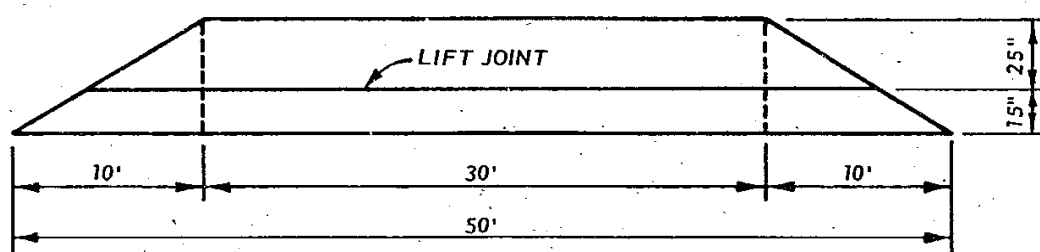


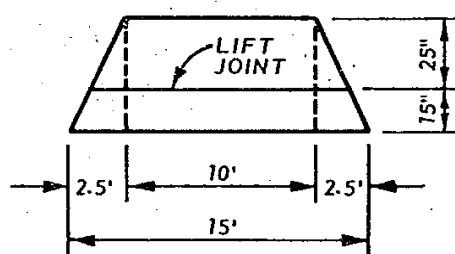
図-1 振動ローラー



PLAN VIEW



SIDE VIEW



SECTION D-D'

NOTE: THE 25-IN. LIFT CONSISTS OF TWO LIFTS: ONE 8 IN. AND ONE 17 IN., PLACED THE SAME DAY.

图-2 断面 1, 施工方法



図-3 先行基礎コンクリート

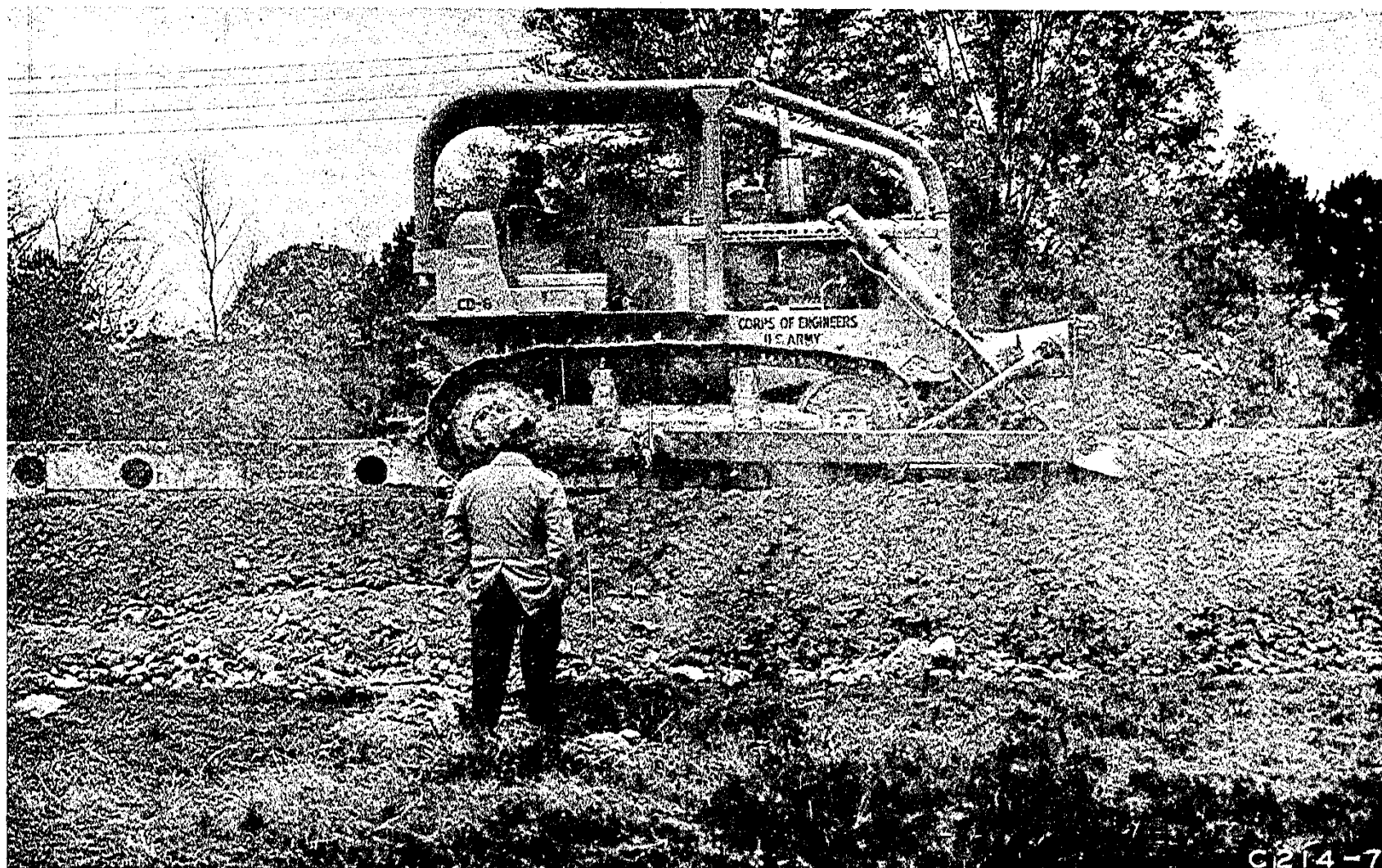


図-4 転圧前のコンクリートの敷ならし

で中心を2回通過；1.0～1.2mph（1.6～1.9km/h）の速度，1700rpmで南側を2回通過；最後に1.0～1.2mph（1.6～1.9km/h）の速度，1700rpmで北側2回通過。この転圧方法によると試験区画の表面仕上りには凹凸が見られた。試験区画の中央部6'（1.8m）については合計8回の転圧が行なわれた。しかし，中央部に隣接する部分では6回通過しただけであり，試験区画の外側2'（0.6m）は2回通過しただけである。

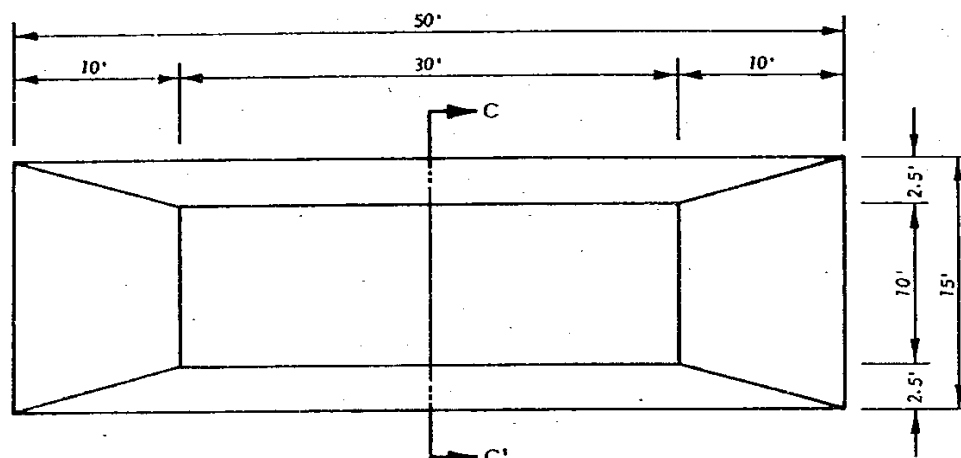
18. 転圧した後，コンクリートの上にポリエチレンをかぶせ，そのポリエチレンの上に散水した。約48時間後にポリエチレンをとりはがし，才2，才3のリフトを打った。硬化したリフト面にはレイタンスはなかった。この区画の才2，才3リフトは水セメント比0.62（重量），最大寸法3"（7.6cm）で使用骨材は石灰岩の配合のものである。才2リフトには着色剤を混入した。この着色剤を混入したコンクリートの6バッチ（12yd³，9m³）は下のリフトの上に打った。コンクリートはブルドーザでならし11tローラーで転圧，振動をかけた。

1.0～1.2mph（1.6～1.9km/h）の速度，1700rpmでの8回通過は次のようにして行なった。南側に2回通過，北側に2回，南側に2回，北側に2回。北側と南側通過では約3'（0.9m）のローラーの重なりがあった。才2リフトの厚さは約8"（20cm）である。転圧の後にはっきりした光沢が現れ，コンクリートはほとんどプラスチックと観察された。転圧中には8"（20cm）リフトで沈下はほとんど観察されなかった。

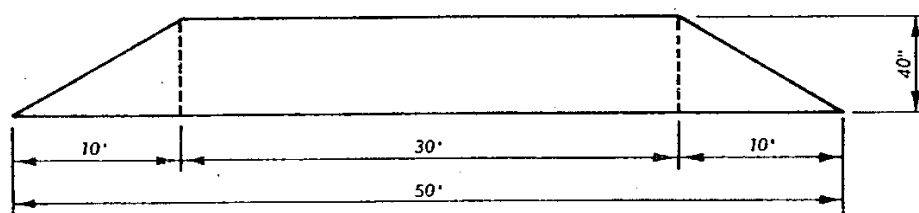
19. 才2リフトの転圧後すぐに才3リフトを打った。12バッチ（24yd³，18m³）のコンクリートをブルドーザで敷ならした。才3リフトでも才2リフトと同じ転圧方法をとった。才2リフトの厚さ8"（20cm）に対して，才3リフトは17"（43cm）であることが唯一の違いである。北側と南側の通過のローラーの重なりは4'（1.2m）であった。才3リフトもまたはっきりした光沢を示し，転圧中の沈下はほとんど見られなかった。この試験区画はポリエチレンでカバーし，そのポリエチレンの上に散水した。ポリエチレンは散水後約2"（5cm）の砂で覆った。コンクリートはこの状態でおよそ40日間養生した。この養生期間後，試験用のコアを穿孔した。

区 画

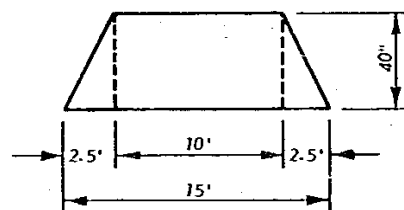
20. 才2区画もまたリフト3層にわけて打ち，その寸法は大略図—5に示すとおりである。3リフトとも水セメント比0.57（重量），最大骨材寸法4½"（11.4cm）の配合のコンクリートを同じ日に打った。コンクリートは次のように打込んだ。ミキサーからスラブへのコンクリートの輸送にダンプトラックを使用する。6バッチ（12yd³，9m³）をスラブ上に置き，



PLAN VIEW



SIDE VIEW



SECTION C-C'

NOTE: THE 40 IN. OF ROLLED CONCRETE CONSISTS OF THREE LIFTS: ONE 12 IN., ONE 10 IN., AND ONE 18 IN., PLACED THE SAME DAY.

图一5 断面2，施工方法

ブルドーザで約12" (30cm) 厚に撒き出し、敷ならした。敷ならし後、11t ローラーでつぎのように締固めた；全通過共1.0~1.2mph (1.6~1.9km/h) の速度、1700vpmで南側2回通過、北側4回通過、南側4回通過。北側と南側の通過には約4' (1.2m) の重なりがあった。図-6で転圧後のノースランプコンクリートのリフトについて説明する。オ1リフトの転圧後すぐ、着色剤を混入したオ2リフトのコンクリートを打った。7パッチ(14yd³, 11m³)をオ1リフト上に打ち、ブルドーザでほぼ10" (25cm) 厚に敷均してから次のように転圧した；全通過共1.0~1.2mph (1.6~1.9km/h) の速度、1700vpmで南側2回通過、北側2回、南側2回、南側2回、北側2回、南側2回。北側と南側の通過にはおよそ4' (1.2m) 重なりがあった。オ2リフトの転圧後すぐにオ3リフトを打った。10パッチ(20yd³, 15m³)のコンクリートをオ2リフト上に打ち、約18" (45cm) 厚にブルドーザで敷ならした後次のように転圧した；全通過共1.0~1.2mph (1.6~1.9km/h) の速度、1700vpmで南側2回通過、北側2回、南側2回、北側2回、北側と南側通過には約4' (1.2m) の重なりがあった。図-7は転圧後のコンクリートの大写しである。ポリエチレンをコンクリート上に敷き、その上に散水した。コンクリートはこの状態で約32日間養生した。この養生期間の後、試験コアを穿孔した。

現場供試体

21. 3日の打設日の各々について1½" (3.8cm) ふるいを通過する配合から6"×12" (15×30cm)の供試体をつくった。供試体は、この報告書の12項に記載する打設工程番号2, 4, 6, 7に応じてつくった。また、3" (7.6cm) ふるいを通過する配合から8"×16" (20×40cm)の供試体をつくった。12項に示す打設工程2, 6, について8"×16" (20×40cm)の供試体をつくった。
22. 図-8および9で番号を付してあるが、試験用に6 (15cm), 10" (25cm), 15" (38cm) の径のコアを穿孔した。打込みおよび穿孔したすべての供試体で密度試験を行なった。

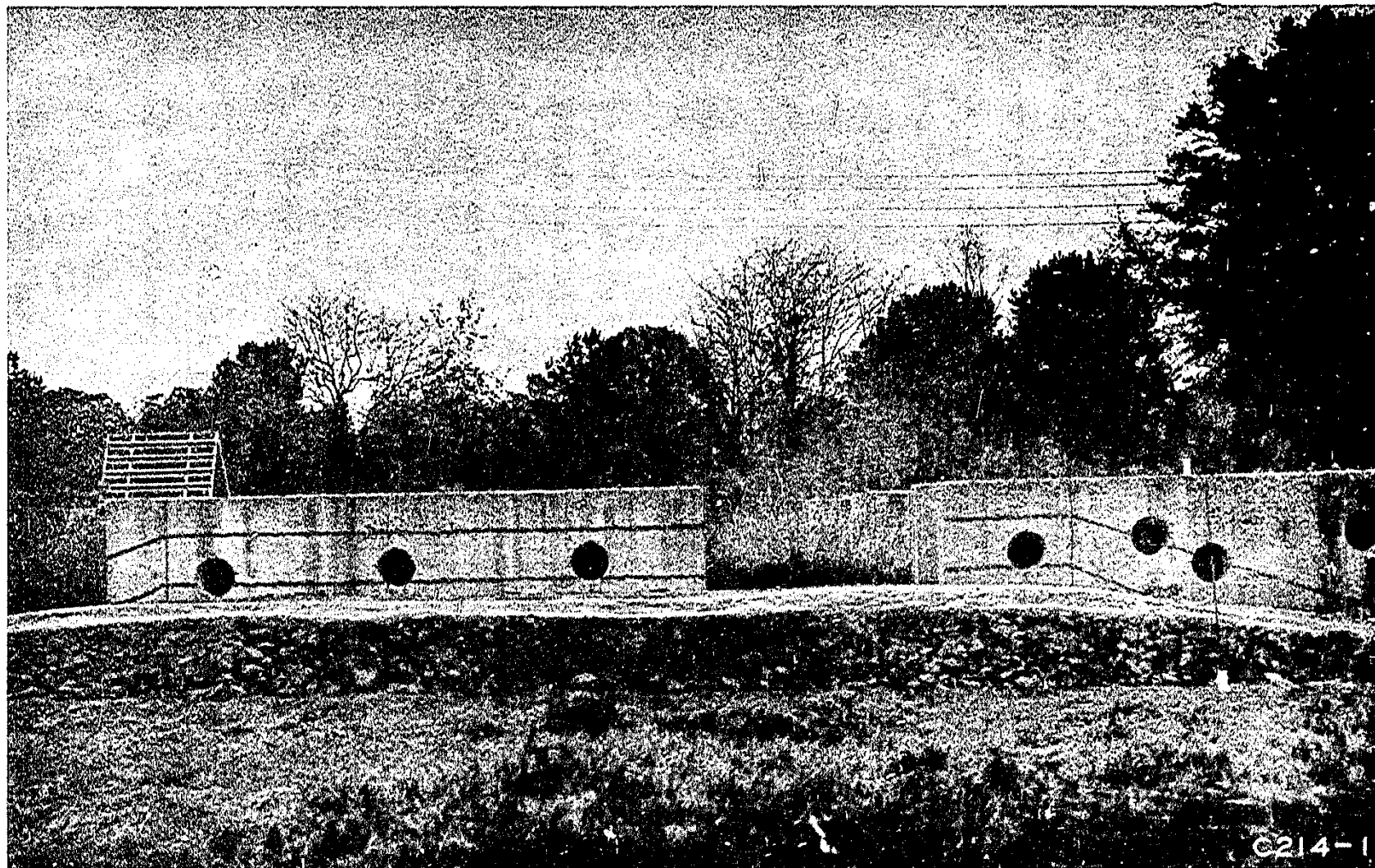


図-6 ローラー転圧後のコンクリート

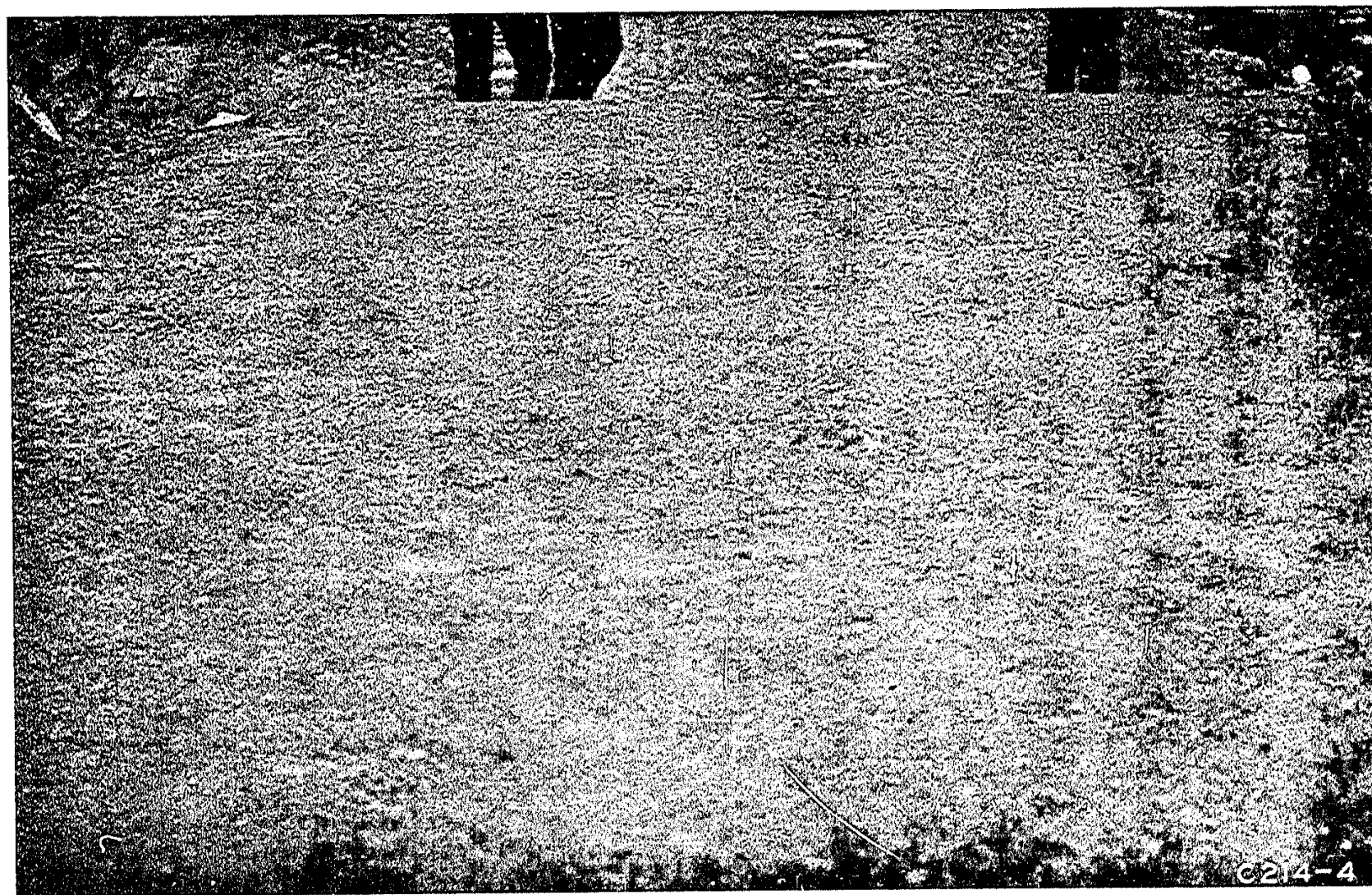


図-7 転圧後のコンクリートの大写し

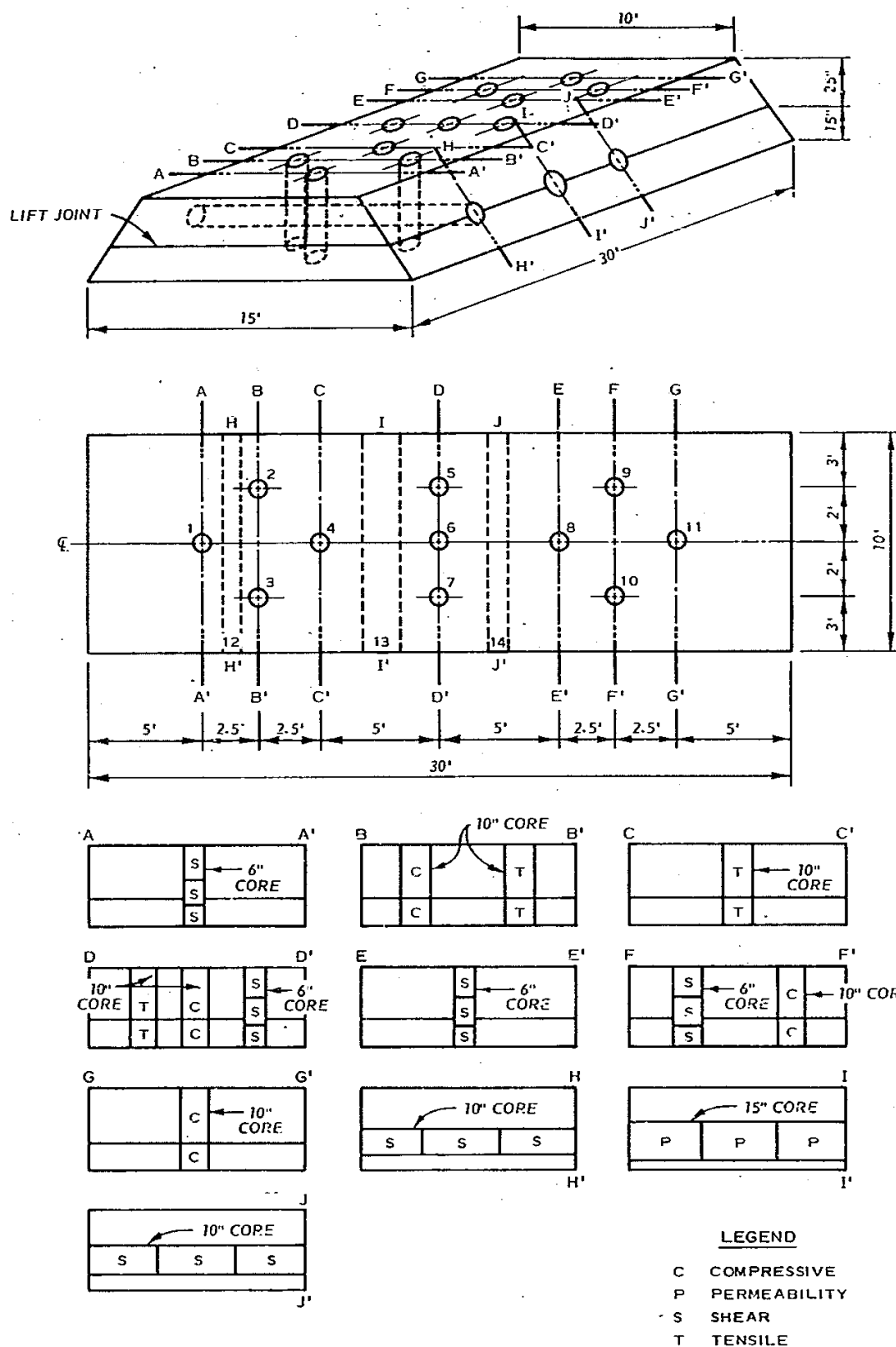
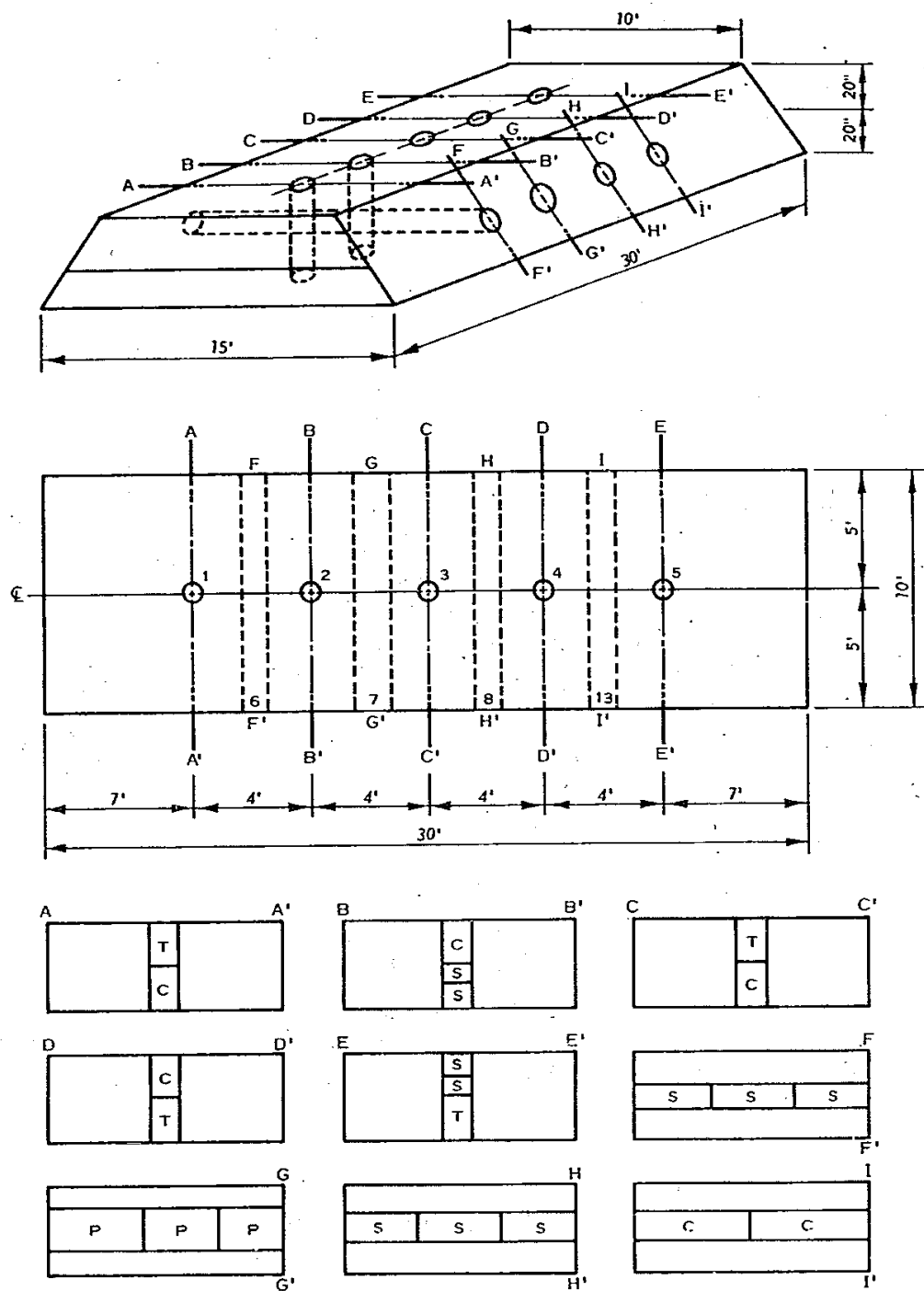


図-8 断面1, コア位置図



NOTE: SECTION G-G', 15" DIAM
CORE; ALL OTHERS,
10" DIAM CORES.

LEGEND
C COMPRESSIVE
P PERMEABILITY
S SHEAR
T TENSILE

图-9 断面2, コア位置图

第Ⅳ部 試験および結果の考察

23. 区画1および2の供試体の単位重量試験の結果を表-4に示す。比較的均一な単位重量を示しており区画2のコンクリートの効果的な締固めが証明された。鉛直穿孔コアの平均単位重量は 159.8 lb/ft^3 (2.56 t/m^3)であった。標準偏差は 2 lb/ft^3 (0.03 t/m^3)より少し小さい。水平穿孔コアの平均単位重量は 158 lb/ft^3 (2.53 t/m^3)で、標準偏差は約 5 lb/ft^3 (0.08 t/m^3)であり、水平な供試体の平均単位重量は鉛直コアより幾分小さい。これは多分、1~2の供試体は試験区画の外縁からとったものであるためと思われる。この区域からのコンクリートは、中央断面のコンクリートより幾分多い空隙が見られた。
24. 限られたデータではあるが、区画2の3リフトの単位重量には明瞭な差異は認められなかった。しかし、 $\phi 3$ リフト(名目上 $18"$ (46 cm)の深さ)の観察では、すべての鉛直コアのほぼ同じ高さに小さな空隙域が見られた。空隙域は $\phi 3$ リフトの底の近くに位置している。このことは、リフト厚 $20"$ (50 cm)はこの形式の設備と締固め方法についての最適リフト厚の最大かやや過大であることを示していると考えられる。コンクリートの単位重量のデータには空隙域は現れていない。コンクリートの撤出し、敷ならし、締固めを考え、大きい骨材の分離を少なくすることを配慮すると、 $8"$ (20 cm)、 $10"$ (25 cm)および $12"$ (30 cm)の撤き出し厚が実用上適しているようである。
25. 区画1を代表する穿孔供試体の単位重量の結果が表-4に示されている。区画1では2つのリフトの単位重量に明瞭な差がある。これは下部コンクリートの明らかな締固めにくさのためである。下部リフトの現場打設中、コンクリートが振動ローラーに感応しないことが観察された。
26. 区画1から鉛直に穿孔したコアの平均単位重量はジョイントの上で 160.4 lb/ft^3 (2.57 t/m^3)、ジョイントの下で、 152.3 lb/ft^3 (2.44 t/m^3)である。コアの標準偏差はジョイントの上で約 5 lb/ft^3 (0.08 t/m^3)、下で約 9 lb/ft^3 (0.15 t/m^3)である。すべての水平ジョイントの供試体の平均単位重量は 152 lb/ft^3 (2.44 t/m^3)で、標準偏差は約 5 lb/ft^3 (0.08 t/m^3)である。ジョイントコアの平均単位重量はジョイントの上の鉛直コアの単位重量より相当小さいが、ジョイントの下の方の値より僅かに小さいだけであった。

27. すべての試験供試体の単位重量のデータを表-5に示す。区画2の締固め方法6による2つの6"×12" (15×30cm) 供試体の平均単位重量は160 lb/ft³ (2.57 t/m³)で、鉛直コアの単位重量 (159.8 lb/ft³ × (2.57 t/m³))とよく一致する。しかし、同じ方法によって締固めた3ケの8"×16" (20×40cm) 供試体の平均単位重量は156 lb/ft³ (2.50 t/m³)であった。8"×16" (20×40cm) および6"×12" (15×30cm) 供試体の間に4 lb/ft³ (0.06 t/m³) の単位重量の差がある。この小さな差は2つの異なった寸法の供試体モールドを使用して、2つの異なった寸法の骨材のコンクリートに対して同じ締固め方法を用いたことが少しいていると思われる。他の締固め方法を用いたものは方法6で行なったものより小さい単位重量となっている。
28. 区画1のコールジョイントの下側コンクリートを代表する締固め方法6を用いた2ケの6"×12" (15×30cm) 供試体の平均単位重量は147.6 lb/ft³ (2.36 t/m³)であった。この値はジョイントの下からとった鉛直コアの平均単位重量より4.6 lb/ft³ (0.07 t/m³)小さい。その差は区画2のコンクリートに比し、このリフトのコンクリートが乾いていることもひとつの理由であろう。方法6を用いた2ケの8"×16" (20×40cm) 供試体の平均単位重量は142.7 lb/ft³ (2.28 t/m³)であった。この値は6"×12" (15×30cm) 供試体の単位重量より4.9 lb/ft³ (0.08 t/m³)小さい。その差は用いた骨材の寸法差もひとつの理由であろう。区画1のコールジョイントの上側コンクリートを代表する。2ケの6"×12" (15×30cm) 供試体の平均単位重量は159.5 lb/ft³ (2.55 t/m³)であった。この値は継目の上の鉛直コアの平均単位重量 (160 lb/ft³ (2.57 t/m³))にほぼ一致する。しかしながら、同じ方法で打込んだ3の8"×16" (20×40cm) 供試体の平均単位重量は153.3 lb/ft³ (2.45 t/m³)であった。他の方法によるすべての値は方法6によるものより小さい単位重量である。締固め方法6と6"×12" (15×30cm) 供試体を用いるかぎり、最大骨材4½" (11.4cm) および3" (7.6cm) の配合について密度は同じであった。

引張強度

29. 引張強度試験は公称10"×20" (25×50cm)の鉛直および水平コアを用いて、試験方法CRD-C77によって行なった。引張試験の概略を図-10, 結果を表-4に示す。区画1の水平継目のコアの平均引張強度は継目の上および下の鉛直コアの引張強度に対し、各々18および23%である。水平コアの低い強度と継目における付着がよくないことは、下側リフトの表面コンクリートが乾燥して締固めがよくないことによる。

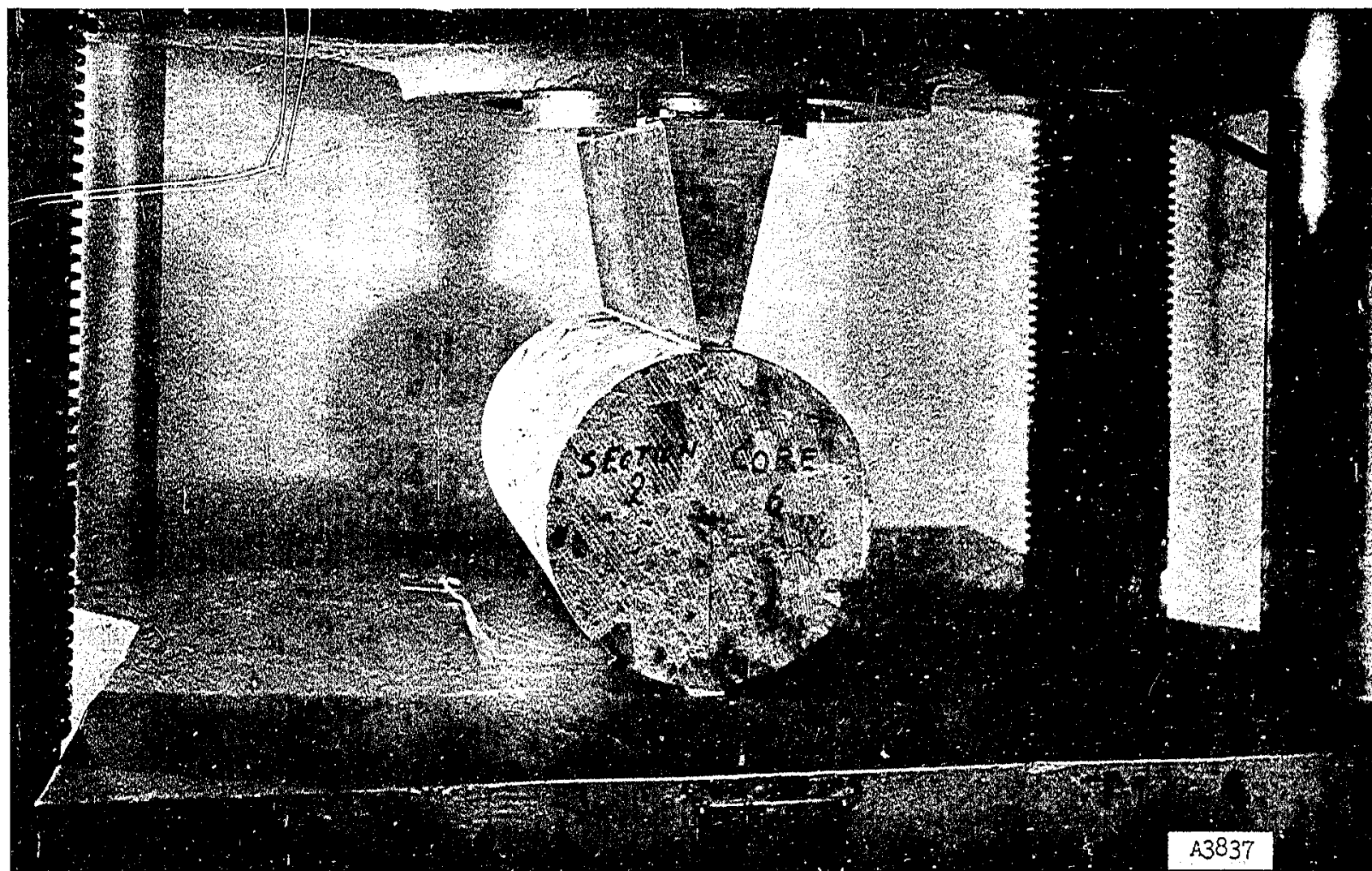


圖-10 圧裂引張試験

30. 鉛直コアの平均引張強度は継目より上の鉛直コアの平均圧縮強度のほぼ10%で、継目より下の平均値の9%であった。水平コアの平均引張強度は全鉛直コアの平均圧縮強度のおよそ11%であった。鉛直コアにおける圧縮強度に対する引張強度の割合は普通であった。

31. 区画2の供試体の引張試験結果を表-4に示す。

水平コアの平均引張強度は鉛直コアのその63%であった。水平コアの強度が低いことは、試験に際して空隙の位置を変えたことも理由のひとつと考えてよい。空隙は普通水平面に沿って生じるので、水平コアでは鉛直コアよりも引張破壊面上の空隙が多い。鉛直コアの平均の引張-圧縮強度比はおよそ1:10であった。これは通常の施工によるコンクリートと同様の比率である。水平コアの平均強度は水平コアの平均圧縮強度の約6%であった。この値は予期した値より幾分低かった；しかし、圧縮強度が高かったこともある。

縦および横せん断

32. 試験法CRD-C89⁽³⁾によって、公称10"×10" (25×25cm)の鉛直および水平コアについて縦せん断試験を行なった。試験装置は図-11に示す。試験結果を表-4に示す。区画1の水平継目のコアの平均せん断強度は、継目の平均圧裂引張強度より幾分高かった。しかし、水平コアの平均せん断強度は鉛直コアのそれよりかなり低かった。これらの結果は以前に実施されている研究と一致する。⁽¹⁾ 鉛直コアの平均せん断強度は鉛直コアの圧縮強度の約20%であった。全部の平均鉛直せん断強度は全部の平均引張強度より高かった。

33. 試験法CRD-C90⁽³⁾によって公称6"×12" (15×30cm)の鉛直コアについて横せん断(一面)試験を行なった。試験結果は表-4に示す。試験データは少ないが、継目のせん断強度は、継目の上および下のせん断強度の約69%であることを示した。

圧縮強度

34. 公称10"×20" (25×50cm)供試体で圧縮試験を行なった。試験結果は表-4に示す。幾つかのコアは高さが40" (100cm)より小さかったので、短かい供試体を用いなければならない場合があった。供試体の高さが20" (50cm)ない場合には、適当な補正係数を用いた。図-12は公称10" (25cm)径の鉛直コアの拡大写真について説明している。区画1の継目の上の鉛直コアの強度は材令約73日で2960~4720 psi (82~131 kg/cm²)であった。継目の下については2150~3780 psi (60~105 kg/cm²)であった。この試験結果からも1リフトのコンクリートの締固めにくさがわかる。区画2の鉛直コアの強度は

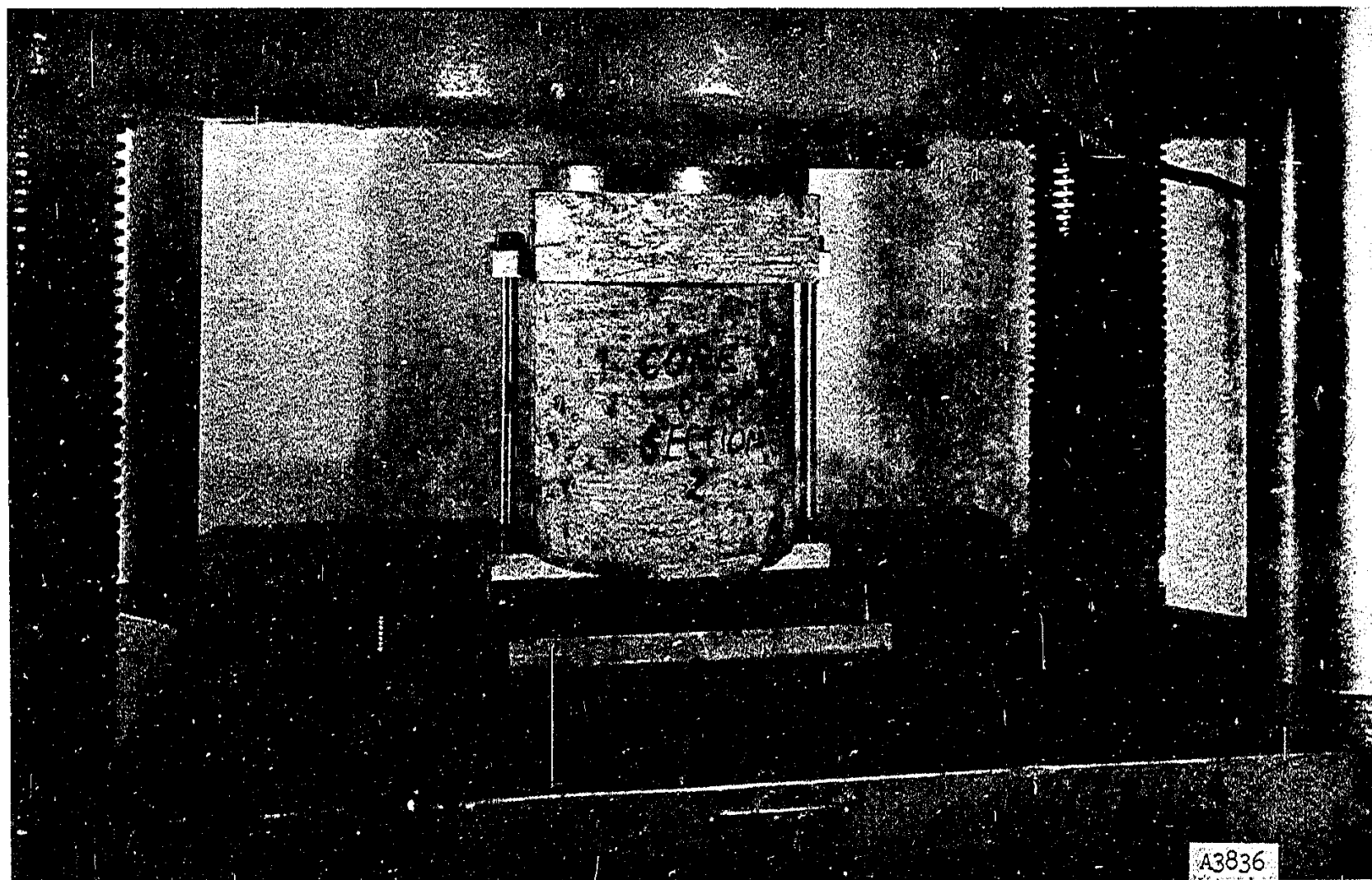


図-11 縦セシ断試験

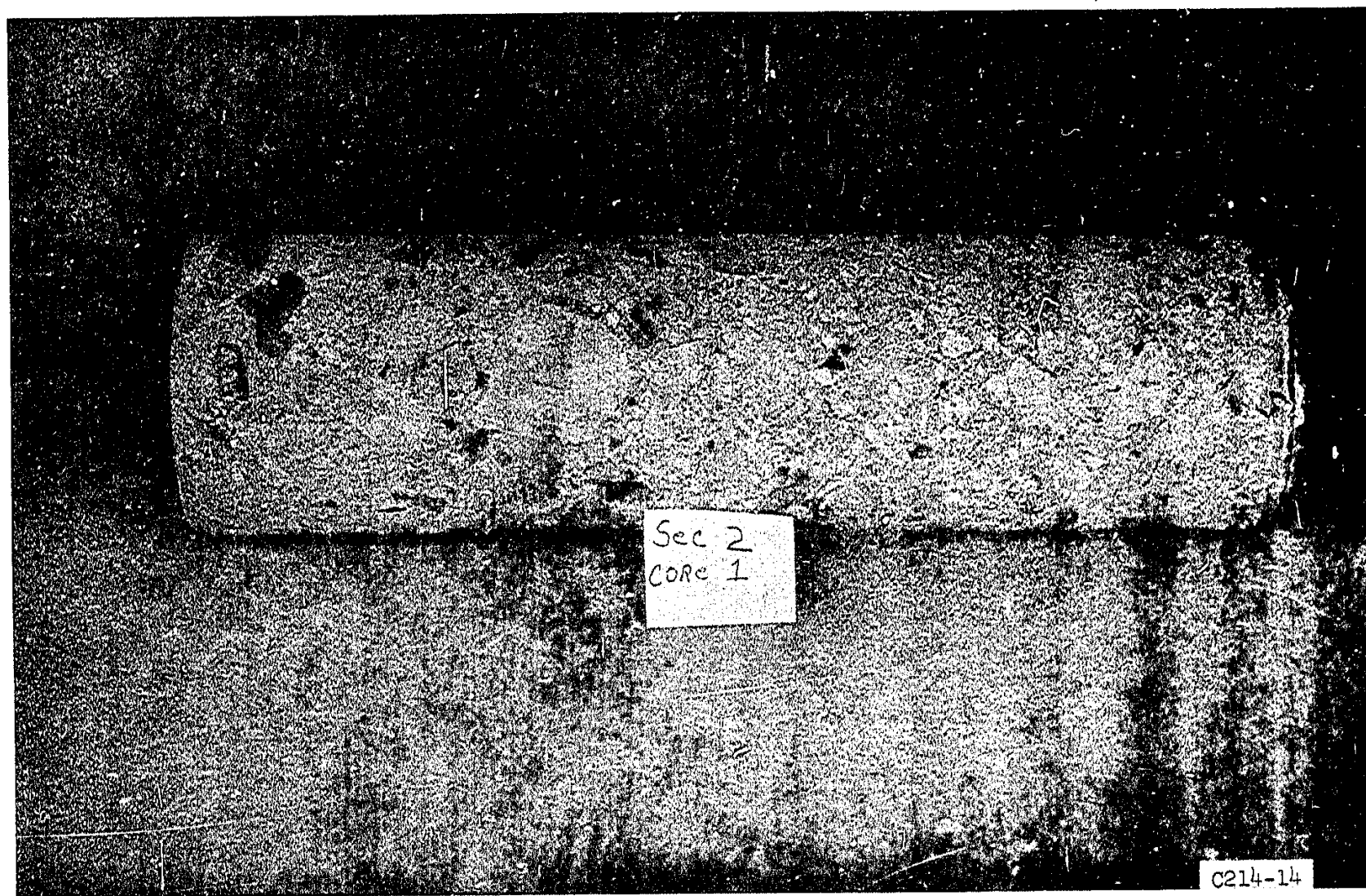


図-12 断面1からのコア供試体

材令約66日で2950~4640 psi (82~129 kg/cm²)であった。この強度幅はダム建設では十分な値である。

透水性

35. 二つの試験区画から、公称15"×15" (38×38cm)のコアを各々3ヶ水平に穿孔した。区画1の締固った継目に沿って3ヶのコアを穿孔した。その上半分は継目の上側で、下半分は継目の下側で才1リフトのどちらかというによく締固っていない部分であり、静水圧を保持できなかった。このため、これらの供試体について透水試験は行なわなかった。
36. ポートランド事務所の大規模な追加試験も行なわれることでもあり、もっと高い透水係数が必要とされているため、残っている供試体についてこれ以上透水係数を求めることはしなかった。

第V部 結 論

37. 施工観察の結果、最大寸法 3" (7.6 cm) または 4½" (11.4 cm) 石灰岩骨材を用いた配合の場合に、マスコンクリートにおけるノースランブコンクリートの混合、運搬、撤出し、敷ならしおよび締固めの可能性をあきらかにした。肉眼観察によると、区画1のオ1リフトに打ったコンクリートはあきらかに締固め状態はわるく、実際に締固め結果も全リフト中最低であった。またこのリフトは一般に最も低い強度、密度および透水試験結果であり、そのため試験結果の平均値を下けている。骨材最大寸法 3" (7.6 cm) のコンクリートは、荷卸し作業が自動的に撤き出し作業になるが、この際ほとんど分離は見られなかった。この方法はマスコンクリート打設の迅速かつ経済的な方法といえる。
38. 鉛直コアの単位重量は、締固め方法6で打込んだ 6" × 12" (15 × 30 cm) 供試体の結果と比較した。方法4, 6, 7によって打込んだ 6" × 12" (15 × 30 cm) 供試体の値はコアの 133% の圧縮強度をもつ。管理用供試体打込みのための管理技術の確立、およびコンシステンシーまたは締固め常数の測定方法の決定の分野では、今後の研究が必要なことは明白である。
39. 圧縮強度試験の結果からこのコンクリートは満足すべき性質であることがわかる。
40. コンクリートの単位重量は、同一の骨材の通常に打込んだマスコンクリートの重量と同等かそれ以上である。
41. 硬化した継目の下と上の鉛直コアの圧裂引張強度は圧縮強度の約10%でこれは普通である。
42. 継目以外の水平コアの縦せん断強度は予期したように引張強度より高い。
43. 区画1, リフト1継目の圧裂引張強度は継目の上および下の平均強度より相当低い。このことは、この報告書で述べている研究の主題とは考えられない。
44. スランブテストではノースランブコンクリートのワーカビリティを測定できない。ノースランブコンクリート配合の締固め性を決定する装置または技術を確立するための研究が必要である。

表-4 コンクリートコアの試験結果

No.1 区 画					
径 10 in (25cm) 垂直コアの試験結果					
コア No.	材令 日	圧縮強度 psi (kg/cm ²)		単位重量 lb/cu ft (t/m ³)	
		継目の上側	継目の下側	継目の上側	継目の下側
2	71	4720 (332)	—	159.3 (2.55)	—
2	73	—	2150 (151)	—	151.0 (2.42)
6	71	3810 (268)	—	160.2 (2.56)	—
6	73	—	3780 (266)	—	155.5 (2.49)
10	71	2960 (208)	—	160.7 (2.57)	—
10	73	—	3170 (223)	—	163.4 (2.61)
11	71	3370 (237)	—	160.1 (2.56)	—
11	73	—	3500 (246)	—	154.3 (2.47)
平均		3720 (262)	3150 (222)	160.8 (2.57)	155.8 (2.49)
平均強度		3430 (241)			

コア No.	材令 日	圧裂引張強さ psi (kg/cm ²)		単位重量 lb/cu ft (t/m ³)	
		継目の上側	継目の下側	継目の上側	継目の下側
3	71	450 (32)	—	158.0 (2.53)	—
3	73	—	355 (25)	—	140.6 (2.25)
4	71	445 (31)	—	165.0 (2.64)	—
4	73	—	205 (14)	—	147.2 (2.36)
5	71	475 (33)	—	160.0 (2.56)	—
5	73	—	340 (24)	—	152.4 (2.44)
平均		455 (32)	300 (21)	161.0 (2.58)	146.7 (2.35)
平均強度		380 (27)			

径 6 in (15cm) 垂直コアの試験結果

コア No.	材令 日	縦せん断強さ psi (kg/cm ²)			単位重量 lb/cu ft (t/m ³)		
		継目	継目の上	継目の下	継目	継目の上	継目の下
8B	75	480 (34)	—	—	161.0 (2.58)	—	—
8A	76	—	—	690 (49)	—	—	153.2 (2.45)
8C	74	—	700 (49)	—	—	160.1 (2.56)	—
平均		480 (34)	700 (49)	690 (49)	161.0 (2.58)	160.1 (2.56)	153.2 (2.45)
平均強度		695 (49)					
すべての垂直コアについて継目の上下各々の平均単位重量					160.4 (2.57)	152.3 (2.44)	
標準偏差					4.73 (0.076)	8.83 (0.141)	

Ⅱ1 区 画
径 10 in (25 cm) 水平コアの試験結果

コア No	材 令 日	圧裂引張強度 psi (kg/cm ²)		単位重量 lb/cu ft (t/m ³)
		継	目	
12F	72	70	(4.9)	1493 (239)
12E	72	75	(5.3)	1512 (242)
14B	72	15	(1.1)	1504 (241)
14E	72	125	(8.8)	1489 (238)
		70	(4.9)	1500 (240)

コア No	材 令 日	横せん断強度 psi (kg/cm ²)		単位重量 lb/cu ft (t/m ³)
		継	目	
12A	79	105	(7.4)	1523 (244)
12B	79	70	(4.9)	1526 (244)
12C	79	55	(3.9)	1530 (245)
14A	79	225	(15.8)	1542 (247)
14C	79	145	(10.2)	1504 (241)
14D	79	170	(12.0)	1467 (235)
平均		130	(9.2)	1515 (242)

径 15 in (38 cm) コアの透水供試体

13	P-1	1561 (250)
13	P-2	1567 (251)
13	P-3	1547 (248)
平均		1558 (249)

すべての水平コアの平均単位重量 1520 (243)
標準偏差 461 (0.074)

Ⅱ2 区 画
径 10 in (25 cm) 垂直コアの試験結果

コア No	材 令 日	圧縮強度 psi (kg/cm ²)			単位重量 lb/cu ft (t/m ³)		
		上	中	下	上	中	下
1	66	—	—	4560 (321)	—	—	1612 (260)
2	66	—	—	4640 (327)	—	—	1604 (257)
3	66	—	—	3760 (265)	—	—	1608 (257)
4	66	2950 (208)	—	—	1574 (252)	—	—
平均		3980 (280)			1600 (256)		

コア No	材 令 日	圧裂引張強度 psi (kg/cm ²)			単位重量 lb/cu ft (t/m ³)		
		上	中	下	上	中	下
1	65	340(23.9)	—	—	157.1(251)	—	—
3	65	410(28.9)	—	—	156.5(250)	—	—
4	65	—	—	455(32.0)	—	—	161.6(259)
5	65	—	—	370(26.0)	—	—	158.5(254)
平均		395(27.8)			158.4(253)		

コア No	材 令 日	縦せん断強度 psi (kg/cm ²)			単位重量 lb/cu ft (t/m ³)		
		上	中	下	上	中	下
2	65	660 (46.5)	—	—	—	—	160.7 (2.57)
2	65	—	825 (58.1)	—	—	—	159.9 (2.56)
5	65	990 (69.7)	—	—	—	—	162.3 (2.60)
5	65	—	770 (54.2)	—	—	—	160.6 (2.57)
平均		810 (57.0)					160.9 (2.57)
すべての垂直コアの平均							159.8 (2.56)
標準偏差							1.88 (0.03)

径10in(25cm) 水平コアの試験結果

コア No	材 令 日	区画の中央 からの方向	圧縮強度 psi (kg/cm ²)	単位重量 lb/cu ft (t/m ³)
13	65	南(1)	4290(302)	159.3(255)
13	65	南(2)	4390(309)	155.7(249)
平均			4340(306)	157.5(252)

*カッコ内の数字は若い方が供試体の中央寄りである。

コア No	材 令 日	区画の中央 からの方向	引張強度 psi (kg/cm ²)	単位重量 lb/cu ft (t/m ³)
6	65	南(2)	295(20.8)	159.7(256)
6	65	北(2)	170(12.0)	152.2(244)
8	65	南(2)	275(19.4)	158.0(253)
8	65	北(2)	270(19.0)	158.0(253)
平均			250(17.6)	156.9(251)

コア No	材 令 日	区画の中央 からの方向	縦せん断強度 psi (kg/cm ²)	単位重量 lb/cu ft (t/m ³)
6	65	南 (I)	565 (398)	1604 (257)
6	65	中央	245 (17.2)	1586 (254)
6	65	北 (I)	295 (20.8)	1553 (248)
8	65	南 (I)	530 (37.3)	1604 (257)
8	65	北 (I)	450 (31.7)	1575 (252)
平均			450 (31.7)	1584 (253)

径 15 in (38 cm) コアの透水試験用供試体

7	65	P-1	1572 (252)
7	65	P-2	1595 (255)
7	65	P-3	1601 (256)
平均			1589 (254)

すべての水平継目コアの平均	1580 (253)
標準偏差	5.21 (0.08)

* カッコ内の数字は若い方が供試体の中央寄りである。

表-5 円筒供試体の試験結果

配合 No	位置		供試体 No	水セメント 比重量	最大骨材 in(cm)	つき固め 方法 No	供試体寸法 in (cm)	打設日	試験日	材令 日	圧縮強度 psi(kg/cm ²)	単位重量 lb/cu ft (t/m ³)	つき固め方法	
	No区画	リスト											平均単位重量 lb/cu ft(t/m ³)	平均圧縮強度 psi(kg/cm ²)
1	1	1	1	0.53	4-1/2 (11.4)	2	8×16(20×40)	12-4-73	2-26-73	84	1140(80)	133.7(2.14)	132.7(2.12)	1160(82)
1	1	1	2	0.53	4-1/2 (11.4)	2	8×16	12-4-73	2-26-73	84	1180(83)	131.8(2.11)		
1	1	1	1	0.53	4-1/2 (11.4)	6	8×16	12-4-73	2-26-73	84	2460(173)	143.0(2.29)	142.7(2.28)	2090(147)
1	1	1	2	0.53	4-1/2 (11.4)	6	8×16	12-4-73	2-26-73	84	1720(121)	142.5(2.28)		
1	1	1	1	0.53	4-1/2 (11.4)	2	6×12(15×30)	12-4-73	2-26-73	84	1700(120)	134.9(2.16)	134.6(2.15)	1700(120)
1	1	1	2	0.53	4-1/2 (11.4)	2	6×12	12-4-73	2-26-73	84	1700(120)	134.4(2.15)		
1	1	1	1	0.53	4-1/2 (11.4)	4	6×12	12-4-73	2-26-73	84	1940(137)	138.2(2.21)	140.6(2.25)	2290(161)
1	1	1	2	0.53	4-1/2 (11.4)	4	6×12	12-4-73	2-26-73	84	2640(186)	143.0(2.29)		
1	1	1	1	0.53	4-1/2 (11.4)	6	6×12	12-4-73	2-26-73	84	3380(238)	146.1(2.34)	147.6(2.36)	3290(232)
1	1	1	2	0.53	4-1/2 (11.4)	6	6×12	12-4-73	2-26-73	84	4110(289)	149.2(2.39)		
1	1	1	1	0.53	4-1/2 (11.4)	7	6×12	12-4-73	2-26-73	84	2480(175)	142.0(2.27)	141.9(2.27)	2490(175)
1	1	1	2	0.53	4-1/2 (11.4)	7	6×12	12-4-73	2-26-73	84	2500(176)	141.8(2.27)		
3	1	3	1	0.62	3 (7.6)	2	8×16(20×40)	12-6-73	2-15-73	71	1900(134)	139.7(2.24)		
3	1	3	2	0.62	3 (7.6)	2	8×16	12-6-73	2-15-73	71	2090(147)	141.9(2.27)	142.0(2.27)	1970(139)
3	1	3	1	0.62	3 (7.6)	2	8×16	12-6-73	2-15-73	71	1910(134)	144.3(2.31)		
3	1	3	2	0.62	3 (7.6)	6	8×16	12-6-73	2-15-73	71	3320(234)	151.9(2.43)		
3	1	3	1	0.62	3 (7.6)	6	8×16	12-6-73	2-15-73	71	3300(232)	154.0(2.46)	153.3(2.45)	3390(239)
3	1	3	2	0.62	3 (7.6)	6	8×16	12-6-73	2-15-73	71	3560(251)	154.0(2.46)		
3	1	2	1	0.62	3 (7.6)	2	6×12(15×30)	12-6-73	2-15-73	71	2570(181)	145.4(2.33)	144.8(2.32)	2530(178)
3	1	3	2	0.62	3 (7.6)	2	6×12	12-6-73	2-15-73	71	2500(176)	144.3(2.31)		
3	1	2	1	0.62	3 (7.6)	4	6×12	12-6-73	2-15-73	71	5190(365)	159.0(2.54)		
3	1	3	2	0.62	3 (7.6)	4	6×12	12-6-73	2-15-73	71	4980(351)	156.0(2.50)	157.5(2.52)	5080(358)
3	1	2	1	0.62	3 (7.6)	6	6×12	12-6-73	2-15-73	71	5250(370)	160.0(2.56)		
3	1	3	2	0.62	3 (7.6)	6	6×12	12-6-73	2-15-73	71	5070(357)	159.1(2.55)	159.5(2.55)	5160(363)
3	1	2	1	0.62	3 (7.6)	7	6×12	12-6-73	2-15-73	71	4930(347)	155.1(2.48)		
3	1	3	2	0.62	3 (7.6)	7	6×12	12-6-73	2-15-73	71	4620(325)	155.1(2.48)	155.1(2.48)	4770(336)
2	2	3	1	0.57	4-1/2 (11.4)	2	8×16(20×40)	12-5-72	2-8-73	65	2370(167)	143.1(2.29)		
2	2	3	2	0.57	4-1/2 "	2	8×16	12-5-72	2-8-73	65	2270(160)	143.3(2.29)	143.3(2.29)	2300(162)
2	2	3	3	0.57	4-1/2 "	2	8×16	12-5-72	2-8-73	65	2250(158)	143.5(2.30)		
2	2	3	1	0.57	4-1/2 "	6	8×16	12-5-72	2-8-73	65	5220(367)	156.5(2.50)		
2	2	3	2	0.57	4-1/2 "	6	8×16	12-5-72	2-8-73	65	5180(365)	155.7(2.49)	156.0(2.49)	5030(354)
2	2	3	3	0.57	4-1/2 "	6	8×16	12-5-72	2-8-73	65	4690(330)	155.8(2.49)		
2	2	1	1	0.57	4-1/2 "	2	6×12(15×30)	12-5-72	2-8-73	65	2940(207)	146.3(2.34)	146.7(2.35)	2820(199)
2	2	3	2	0.57	4-1/2 "	2	6×12	12-5-72	2-8-73	65	2710(191)	147.1(2.35)		
2	2	1	1	0.57	4-1/2 "	4	6×12	12-5-72	2-8-73	65	5160(363)	155.8(2.49)	157.4(2.52)	5470(385)
2	2	3	2	0.57	4-1/2 "	4	6×12	12-5-72	2-8-73	65	5790(408)	159.0(2.54)		
2	2	1	1	0.57	4-1/2 "	6	6×12	12-5-72	2-8-73	65	5480(386)	159.5(2.55)	160.0(2.56)	5240(369)
2	2	3	2	0.57	4-1/2 "	6	6×12	12-5-72	2-8-73	65	5000(352)	160.6(2.57)		
2	2	1	1	0.57	4-1/2 "	7	6×12	12-5-72	2-8-73	65	5230(368)	157.9(2.53)	157.4(2.52)	5180(365)
2	2	2	2	0.57	4-1/2 "	7	6×12	12-5-7	2-8-73	65	5130(361)	156.9(2.51)		

*All unit weights were made at 24 ± 4 hr age.

報 告 管 理 資 料		
1. 研究機関		2 a 報告分類
		2 b 区 分
3. 報告書名		
4. 内 容		
5. 責 任 者		
6. 作 成 日	7 a ページ数	7 b 参考文献数
8 a 契約番号	9 a 元報告書番号	
8 b 計画番号	9 b 別分類報告書番号	
10. 資料配布		
11. 予備記述	12. 依 頼 者	
13. 要 約 試験用のノースランブコンクリートは最大骨材寸法 $4\frac{1}{2}$ in (11.4 cm) のものが2区画, 3 in (7.6 cm) のものが1区画である。タイプ I のポルトランドセメントを使用し, 単位セメント量は 255 lb (150 kg) であり, 使用骨材は石灰岩碎石である。また水セメント比はいろいろと変えている。この試験は 1972 年 11 月に WES で行なわれた。1972 年 11 月 4~6 日の 3 日間に試験を行なったが, それに適応するようノースランブコンクリートを打設した。幅 15 ft (4.6 m) のスラブ上にリスト厚の異なる 2ヶ所の試験区画を作成した。最大骨材寸法が $4\frac{1}{2}$ in (11.4 cm) と 3 in (7.6 cm) のコンクリートの打設, 敷きならし, てん圧を行なったが, そのうちひとつの区画は水平打継目を連続して同じ日に打ち, 他の区画は 1 ½ 日~2 日置いて打った。コンクリートは半自動プラントで計量し, コーリング社の傾斜ドラム型 2 cv-yd (1.5 m³) ミキサーでねり混ぜた。運搬は 5 cv-yd (3.8 m³) ダンプトラックで行ない, ブルドーザーで敷きならし, 11 トン自走式振動ローラーでてん圧, 締固めを行なった。3 日間の試験からマスコンクリートについてノースランブコンクリートの練り混ぜ, 運搬, 敷きならしおよび転圧の可能であることが確認された。コア供試体の試験結果から見ると, コンクリートの単位重量および強度についてローラー転圧方法は十分使用可能なことがわかった。		

(資料 4)

アメリカにおける貧配合コンクリートダム計画

土木研究所ダム部

ダム構造研究室

高樋堅太郎

1. 概 説

アメリカで貧配合コンクリートについて精力的に取り組んでいるのは陸軍工兵隊である。陸軍工兵隊の北太平洋局では貧配合コンクリートを用いて、振動ローラーで締固めるダム建設を企画し、そのために室内試験や現地試験を数多く行なっている。その結果については「ノースランプコンクリートのマスコンクリート施工における可能性の研究」および「ロストクリークダムにおけるローラー締固めコンクリートの研究」(訳文)に述べているとおりである。

これらの研究の結果、陸軍工兵隊ではこの種のダムの建設について可能であるとの結論に達した。そこで、ワシントン州南東部のコロンビア河流域に計画していた Zintel Canyon Dam を貧配合コンクリートによって施工することに決定し、現在その計画をすすめている。

2. 貧配合コンクリートダム施工の背景

Zintel Canyon Dam は当初フィルダムによって計画され、建設が始められようとしていた。

このダムは洪水調節を唯一の目的とし、その対象となるのはダム下流の Kennewick という都市であり、人口は約1万5千程度である。ダムサイトはいわゆる河川ではなく、谷であり、通常は水が流れていない。ここに10年に1度程度の確率で生ずるコロンビア河の洪水が流れ込み、下流の Kennewick 市に被害が生ずることになる。

このことは、Zintel Canyon Dam の建設についてふたつの大きな条件が生ずることになる。ひとつは投資効率が厳しいことから、経済的な努力がより以上に要求されることであり、ひとつはダムサイトの状況から、ダムの設計や施工の条件が非常に緩やかになることである。

ダムサイトが通常の川でない、即ち数年あるいは十数年に一度しか水がないということだけを考えてみよう。ダム設計上の重要なふたつの条件は安定性と止水性である。完成後のダムに平常は貯水されていないことを考え、洪水時の貯水も一定量以下で放流しさえすればよいという条件を考えると、自ずから止水性はいうに及ばず、安定性についても我々の概念にある厳密さからはるかに緩和されたものを考えて間違いがない。また、施工上の重要な課題のひとつは流水の経路変更であるが、それについて全く考慮しなくてもよいということは施工条件の著しい緩和である。

これらのことから、ダムの設計や施工を大胆に経済性を徹定的に追求することが可能になる。こうした検討の結果フィルダムの計画では投資効果は1.7倍であったものがこれを貧配合コンクリートで施工することにより約2倍に上げることができるという結論に達し、計画の変更を行なったわけである。

3. ダムおよび貯水池の諸元

貧配合コンクリートによるダムの詳細設計はまだ行なわれていない。ここではフィルダム設計時の諸元を示すが、大要に変化はない。またフィルダムの平面および標準断面等については図-1, 図-2に示す。

目 的	洪水調節
型 式	ゾーン型アースフィルダム
堤 高	41 m
堤 頂 長	169 m
堤 頂 幅	6.1 m
総貯水量	5,800,000 m ³
洪水吐	ゲートなし クレスト幅 49 m 設計洪水量 900 m
工 費	520 百万円 (1973年)

4. 貧配合コンクリートダム計画の特質

Zintel Canyon Dam を貧配合コンクリートによって施工するに当たっての詳細設計は未だ行なわれていない。したがってその細部については不明であるが、現在計画されている設計、施工上の特質は凡そつぎのようなものである。

1. 堤体の安定条件はフィルダムとしての安定を検討するようであり、セメントの使用によって材料の強度をあげる考え方である。その際の安全率は普通時 1.3, 地震時 ($k=0.1$) 1.1 である。
2. セメント使用量は内部が 60 kg/m^3 , 外部が 120 kg/m^3 を予定している。
3. 使用骨材の最大粒径は 7.6 cm で自然材料を用いる。材料の強度はシルト分が混入している方が大である。
4. ブロック打設方法はとらず、全面レヤー方式で振動ローラーによって締固める。
5. 水平継目のモルタル施工は行なわない。
6. 型枠使用等による上下流面の整形は行なわない。
7. 骨材の水洗いは行なわない。
8. 仮排水路は設けず、夏の乾期の施工で必要な高さまで上げる。

図-3～図-6に現在検討されている貧配合コンクリートダム案の例が示されている。

図-3は上、下流面勾配を1:1にとり、全体として止水効果を得る。均一型アースフィルダムの変形と考えてよい。単位当り60kg/m³のセメントを加えた骨材料をてん圧する内側部分と、単位当り120kg/m³のセメントを使用する振動ローラー締固めコンクリートの外側部分とに分かれる。図-4は貯水池を含む平面図である。

図-5は、図-3に示す形状と同様の考え方で、材料の強度を上げて上下流面勾配を1:0.8にとっている。

図-6は、ダム軸から上流側を旧来のフィル材料で施工し、下流側をセメント混入の材料を用いて強度の向上を計り、同時に止水効果を得ようとする考え方である。上流側のフィル部分については、天端から勾配を1:1にする案と、中間標高から勾配を1:2にする案を示している。

この案の場合、ダム軸から下流を考えると通常の重力ダムと何ら変わらない。荷重条件として堆砂圧が過大になることもあって、我が国の設計基準を考えた場合には、果して安定条件を満たしているかどうかは疑問である。

このように堤体形状が未だ定っていないが、これは設計事項も含めて契約項目に入っているためである。即ち材料の採取や選択、打設方法等の施工についてはもち論のこと、堤体の安定条件の充足等の設計についても含めて契約がなされるわけである。例えば、材料を選択し、施工方法を入念にして材料の強度を増し、堤体断面を減らすといったようなことが契約者の載量に委ねられるということであり、我が国のやり方とかなり異っている。

5. 結 論

以上述べたように、Zintel Canyon Dam計画は我が国のダム建設の現状に較べてかなり大胆である。堤体材料が旧来のものと大いに違っているし、施工方法も新しい。

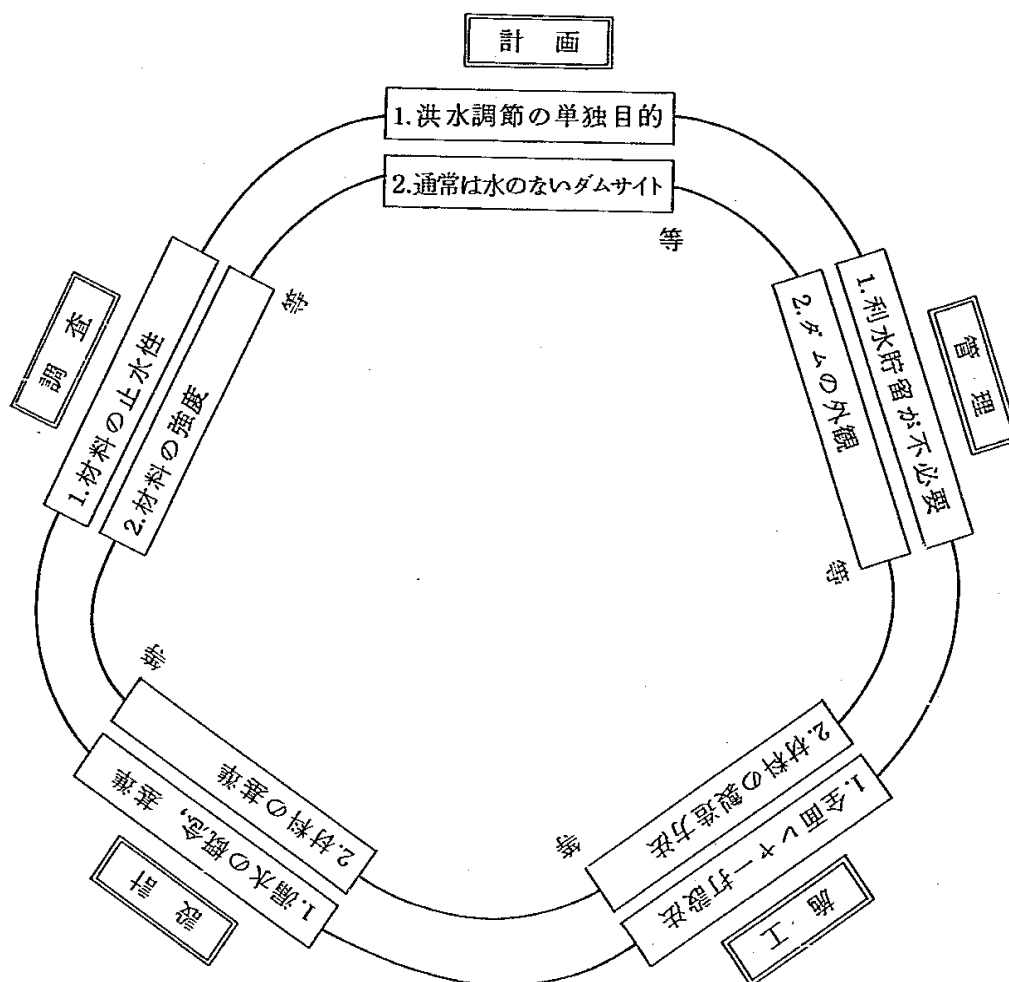
このダム計画で気づくことは、ひとつの新しい事項、例えば材料をとりあげてもそれが独立してあるのではなく、他の事項と有機的につながっているということである。即ち、計画、調査、設計、施工、管理の各段階で、ひとつの新しい事項から生ずる影響について、それを補う条件が整っているということである。そのひとつの例は下に示す関係図であらわすことができる。

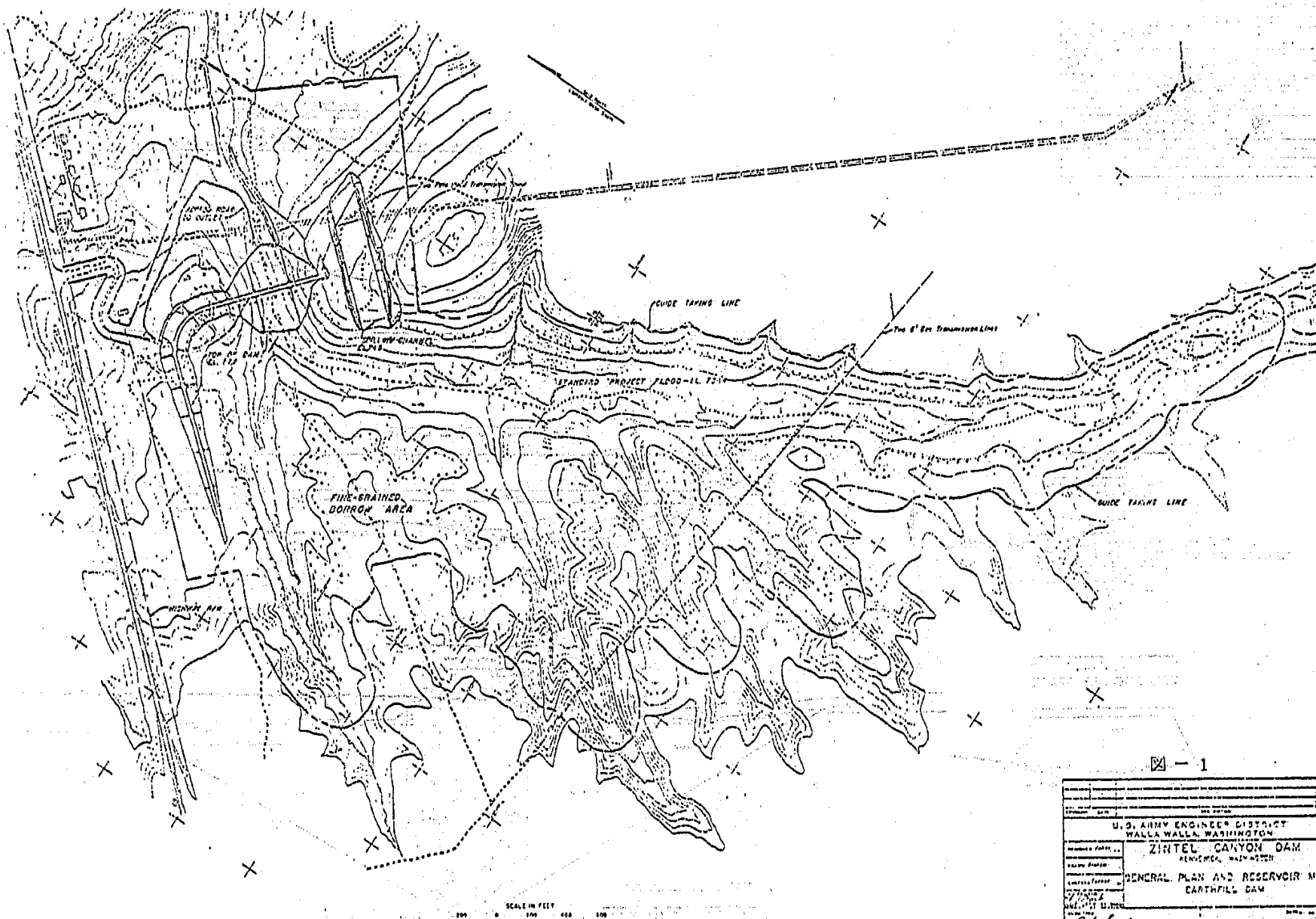
我が国においてもコンクリートダムを合理的に建設する努力をすることは必要で、関係各機関で積極的に取組まれている。近い将来その成果があらわれ、新しい型式のダムが出現するかもしれない。

そのときは、ひとつの新しい事項が単独にとり入れられるという場合は予期したような効果は少なく、設計基準の見直し、施工方法の開発、材料学の進歩、ひいてはダム観のわずかな変

換等の条件が同時に行なわれたとき、新しいダム構造物の出現が期待されるように思われる。

Zintel Canyon Dam の築造条件の補完例





1

U.S. ARMY ENGINEER DISTRICT WALLA WALLA, WASHINGTON	
ZINTEL CANYON DAM BENEFICIAL, WASH. STATE	
GENERAL PLAN AND RESERVOIR MAP EARTHFILL DAM	
DESIGNED BY <i>W. H. ...</i>	DATE 7.5-05-2/2

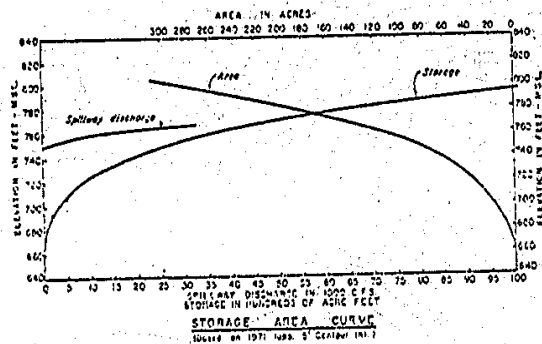
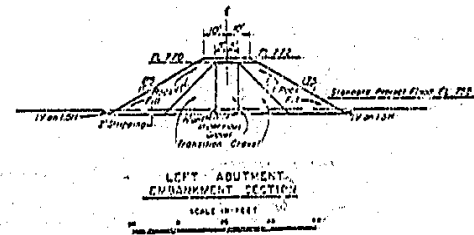
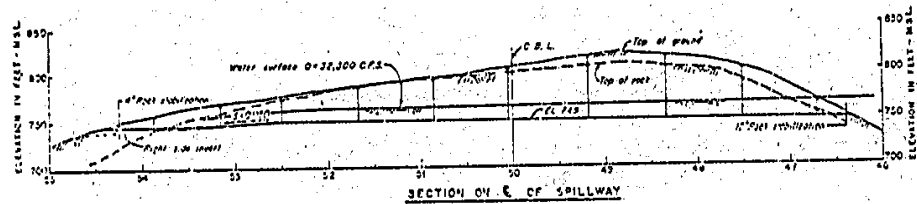
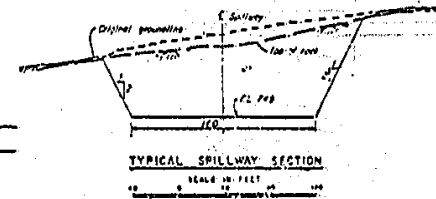
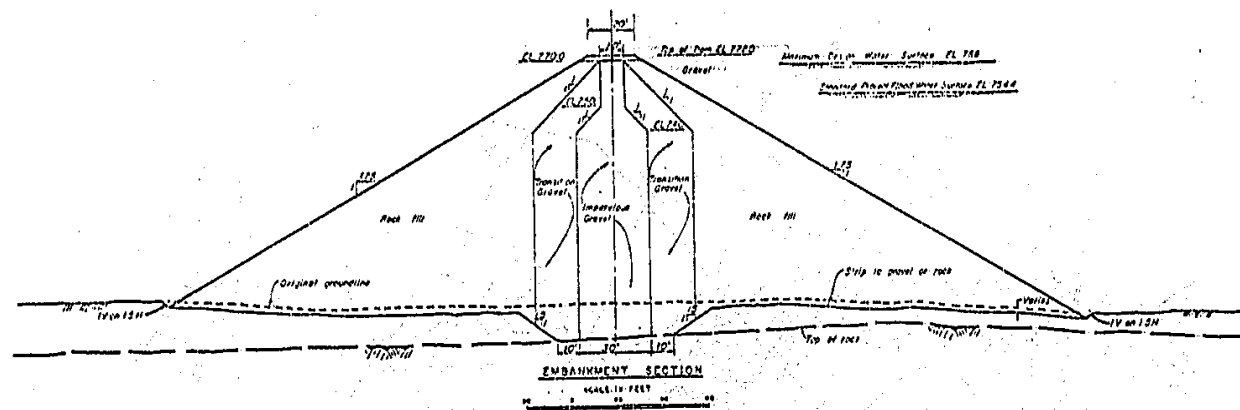
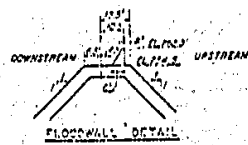
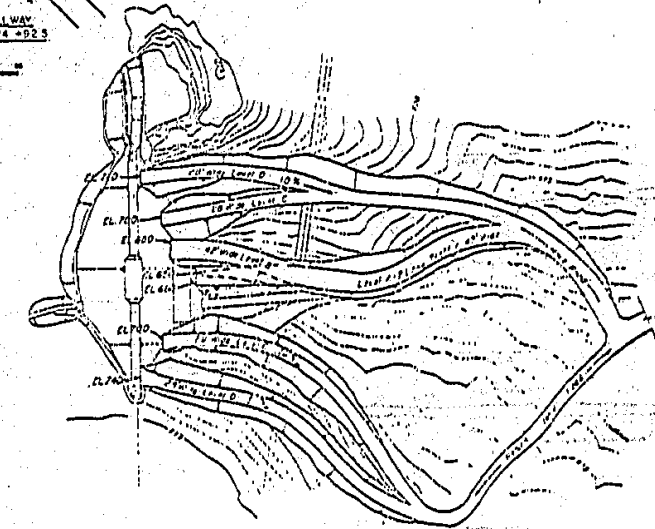
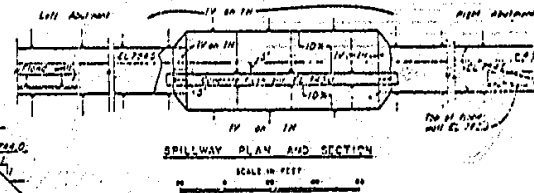


图 - 2

U.S. ARMY ENGINEER DISTRICT WALLA WALLA, WASHINGTON	
ZINTEL CANYON DAM	
TYPICAL SECTIONS, STORAGE AREA CURVE AND SPILLWAY RATING CURVE EARTH-FILL DAM	
DESIGNED BY P. A. [Signature]	CHECKED BY [Signature]
DATE [Date]	SCALE [Scale]

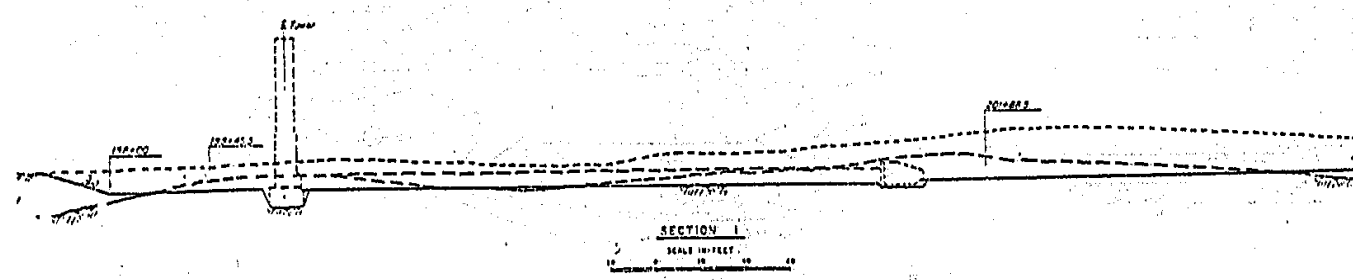
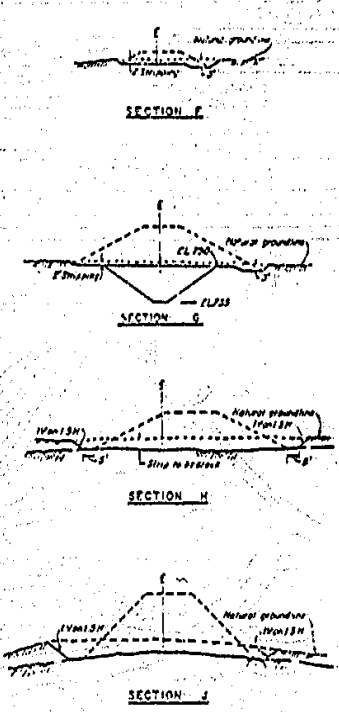
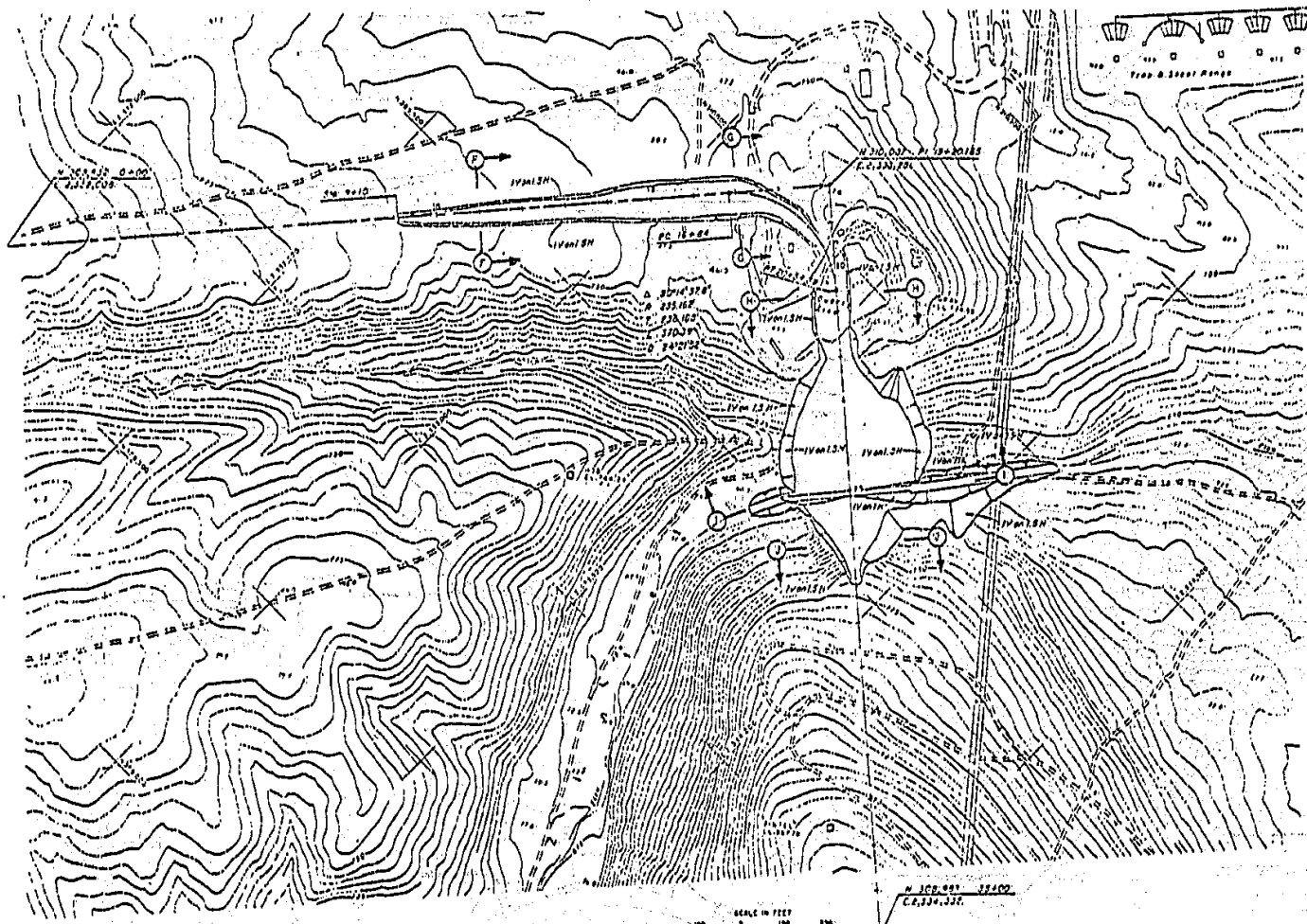


**U.S. ARMY ENGINEER DISTRICT
WALLA WALLA, WASH.**

ZINTE CANYON DAM
DRAWING NO. 100-100-100-100
DAM AND DUNE
TYPICAL SECTIONS
ALTERNATE PLAN 2

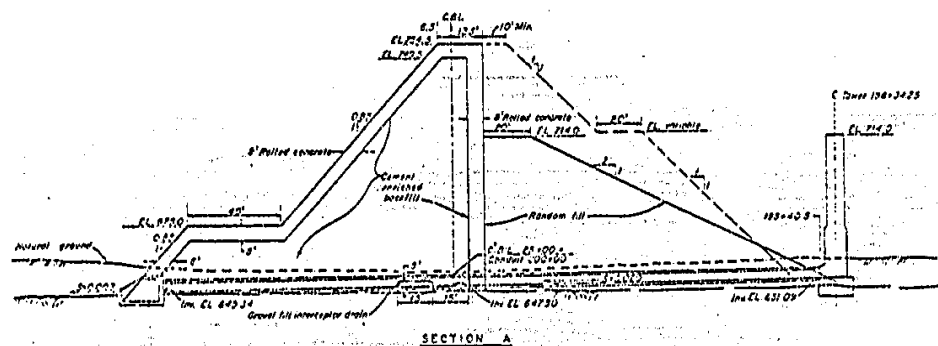
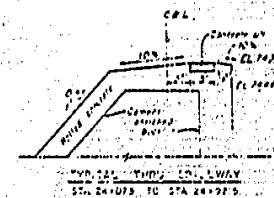
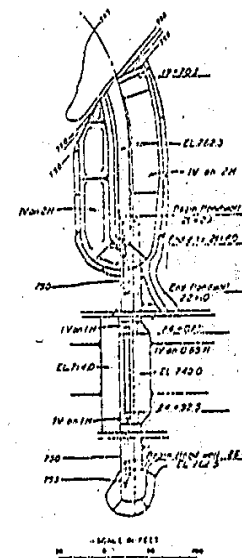
R.E. Miller

7C-C5-349

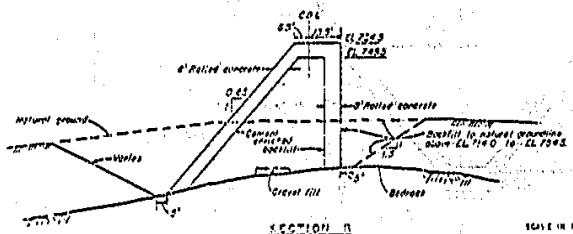


4

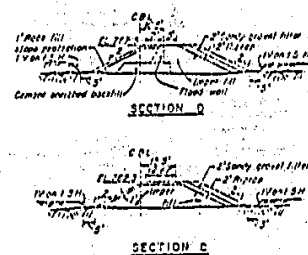
U.S. ARMY ENGINEER DISTRICT WALLA WALLA, WASHINGTON	
ZINTEL CANYON DAM KENNERICK, WASHINGTON	
DAM AND DIKE EXCAVATION ALTERNATE PLAN 1	
DESIGNED BY J. B. BULLINGTON	CHECKED BY J. B. BULLINGTON
DATE OF DESIGN MAY 1940	DATE OF CHECK MAY 1940
7C-05-3/10	



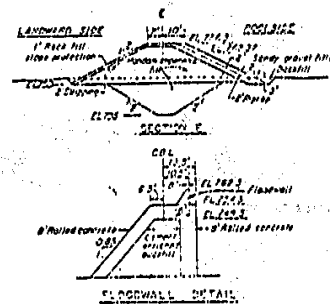
SECTION A



SECTION 8



SECTION C



FLOODWALL DETAIL

U.S. ARMY ENGINEER DISTRICT
WALLA WALLA, WASHINGTON.

ENGINEER DISTRICT WALLA WALLA, WASHINGTON
ALTERNATE PLAN, III

TYPICAL SECTIONS AND DETAILS
ALTERNATE PLAN, III

JAN 1944

JAN 1944