

イタリアのアーチダム

“Arch Dams : Development in Italy”
Carlo Semenza
Proc. ASCE, Vol. 82, No. P 03, June 1956

(この論文は 1956 年 7 月, Knoxville, Tennessee で開かれたアーチダムに関する ASCE シンポジウムで発表されたものである)。イタリアのアーチダム建設がさかんな理由は, a) アルプスとアペニン山脈のアーチダムに適した狭い谷, b) 建設業における熟練労働力のコストが比較的安く, 従つて材料のコストすなわちコンクリート容積が建設費のおもな要素となつている, c) 安全度が同程度であれば経済的な要素からコンクリート容積の少ない型式のダムを選ぶ, d) 個々の問題の利得を調べ, 先入観にとらわれないイタリアの国民性, e) 古代ローマから建築にアーチが用いられてきた伝統的な雰囲気等があげられる。

イタリアにおけるアーチダムの発達は次の 4 段階に分けることができる。1) 円筒上流面, 垂直面をもつたアーチダムが一般に建設された 1930 年まで。Ponte della Serra : カレンチレバーの影響を考へていない, Corfino : イタリアにおける最初の薄いアーチ, Muro Lucano, Turrîte di Gallicano, Furlo (図-1 および表-1~3 参照)。2) 第 1 段階の終り 1920 年代には encastrement (岩盤に深く入りこんだ取付け部) をもつた水平アーチの理論 (Guidi 教授) による計算が行われ, また定角型アーチへ向う傾向が見られた。堤頂が下流へオーバハンクしている二重曲率 (double curvature) アーチへと進み, またアーチの厚さをクラウンから取付け部へ向い増すことが行われた。Comelico : encastrement 理論に合うよう取付け部に多量の鉄筋を用いた, Ceppo Morelli, Rocchetta, Fortezza : 最後の両者は周辺継目の原理によるスムーズな支持面をもっている。3) ドーム型アーチへ向う傾向が認められる, Osiglietta : 完全な対称形, 連続した曲率の取付け部, Lumiei : この種のダムで最

図-1 イタリアにおける各種のアーチダム

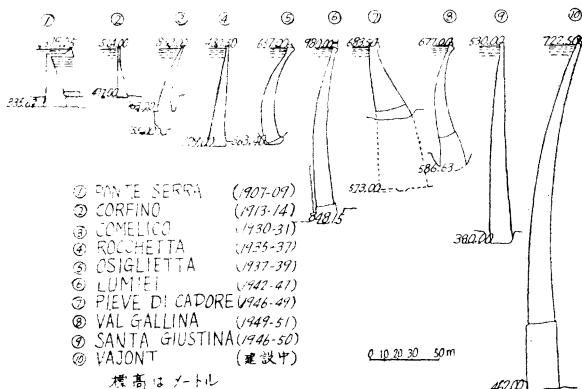


表-1 単一曲率のアーチダム

ダ ム	高さm	堤体積 m ³ × 10 ³	建設年度	備 考
1. Crosis	38.20	—	1901	cr
2. Ponte della Serra	44.40	19.7	1907—1909	cr, o
3. Corfino	37.50	2.20	1913—1914	cr
4. Muro Lucano	53.25	10.00	1914—1917	cr
5. Turrîte di Gallicano	42.00	9.05	1915—1916	cr, o
6. Lago Sucotto	15.20	0.43	1919—1923	cr
7. Ogna supriore	26.60	—	1922	cr
8. Ogna Inferiore	11.50	—	1922	cr
9. Gurzia	50.00	8.00	1922—1925	ca, r, o
10. Val Molinara	17.00	—	1923	cr
11. Valla (L. Scuro)	47.00	23.00	1923—1925	cr, o
12. Lago Campelli	20.00	1.24	1924	cr
13. Rimasco	30.50	—	1925	cr
14. Tul	40.10	1.98	{1925—1928 1947—1949}	cr, o
15. Orichella	36.20	9.50	1926—1928	cr, r, o
16. San Colombano	19.00	—	1928	cr
17. Ceppo Morelli	46.00	10.50	1929	ca
18. Comelico	66.50	31.50	1930—1931	ca
19. Moledana	42.60	12.8	1930—1931	ca, o
20. Malciaussia	30.50	7.30	1932—1933	ca, r, o
21. Rocchetta	76.00	49.00	1935—1937	ca
22. Sottosella	57.75	24.35	1937—1939	cr, r, o
23. Giaredo	27.50	1.80	1940—1941	cr, o
24. Ponigai	41.50	5.00	1941	ca, o
25. Provvidenza	52.20	70.8	{1941—1943 1946—1947}	ca, o
26. Novarza	38.75	1.35	1946—1947	cr, o
27. Santa Giustina	152.50	112.00	1946—1950	ca
28. Ganda	30.00	6.00	1947	ca, o
29. Zolezzi	19.00	19.00	1923	cr

注 cr : ほぼ定半径, ca : ほぼ定角, r : 鉄筋コンクリート, o : 越流

も薄いものの一つで, 岩盤の変形を計算に入れた最初のダム, Val Gallina, Santa Giustina, Rio Freddo : 薄いアーチを支えているコンクリートの人工ブロックをもっている, Vajont : 建設中, 高さ 262.5 m 堤体積 33.5 万 m³。4) 最近 15 年間イタリアではアーチ重力ダムが盛んに建設され, 1945 年以後のものはドーム型アーチダムのようにカンチレバーの重量を極度に利用している, Pieve di Cadore, Publino, Travignolo, Mucone, Fi astrone, Beauregard, Cancano, Mulgargia, Flumena, Frera。ダムの最大応力として, コンクリートの 90 日強度の 1/5 と等しい値をとる傾向があり, 28 日強度の 1/5, 90 日強度の 1/7 としている現行のダム規定 (Regolamento Dighe) はまもなく改正されるだろう。アーチダムおよびアーチ重力ダムの圧縮応力は 60~70 kg/cm², 引張応力は 8~10 kg/cm² のオーダーとなつている。

イタリアではアルプス地方の厳しい気候のため工期を短くすることが必要であり, この点でアーチダムが適している。Piave ダムでは 44 150 m³/月 (1948~1949), Cancano ダムでは 54 700 m³/月 (1955) のコンクリートを打つて, Pian Telesio, Beauregard ダムでもこの程度の打設量であつた。

ダムを対称形とすると, そうでない場合よりも堤体内の応力の分布が一樣となり, 最大応力を小さくすることができること, 堤体および取付け面

の急激な形の変化を避けて、幾何学的に連続とすれば応力集中が避けられる、さらにアーチ解析においてしばしばその基礎となつてきた完全な **encastrement** は、実際にはあり得ない仮定にすぎず、単純支持とすることによって取付け部の施工が容易となり費用も少なくなるとの理由から、われわれはダム全体が岩盤の上に造られたサドルの上のり、堤体とサドルとの間は連続した曲面の施工継目、すなわち周辺継目 (Perimetral joint) で分ける方法を行つてきた。この方法の利点は：一定の条件 (例えば温度変化、収縮、地震) によつて生ずるアーチ上流面の取付け部、特に下部の厚い部分と中央カンチレバーの脚部の引張応力を軽減する。これによつて上流面にクラックの生じる危険を避けることができる。つまりクラックの生じる部分をあらかじめ定めておき、そこは透水に対して処置してあることになる。われわれは **Osiglietta** ダムに始めて周辺継目を用いてから多くのダムに用いてきた。実際のダム周辺継目のあるものとなないものについて比較することは不可能である。しかし

表—2 二重曲率 (ドーム) のアーチ

ダ ム	高さ m	堤体積 $m^3 \times 10^3$	建設年度	備 考
1. Osiglietta	76.80	75.00	1937—1939	○
2. Fortezza	63.50	15.00	1938—1940	○
3. La Maina di Sauris	136.15	100.32	1942—1947	○
4. Bau Mandara	20.30	1.30	1942—1948	○
5. Monte Zovo (Avandiga)}	28.40	1.43	1946—1949	○
6. Ponte Racli	75.35	18.00	1948—1951	○
7. Valle di Cadore	61.25	4.607	1949—1950	○
8. Val Gallina	92.37	99.10	1949—1951	○
9. Pezzè di Moena	28.30	1.50	1950	○
10. Barrea	62.75	4.5	1950—1951	○
11. Carboi	47.00	32.00	1950—1951	○
12. Isolato	38.50	6.50	1951—1952	○
13. Senaiga	68.00	—	1954	○
14. Corlo	71.00	—	1954	○
15. Barcis	50.15	9.00	1954	○
16. Grotta Campanaro	49.00	5.40	1954	○
17. Rio Freddo	40.50	32.20	1954—1955	○
18. Forra dei Camini (Stramentizzo)}	63.00	24.00	1954—1956	○

注 ○: 越流

表—3 アーチ重力ダム

ダ ム	高さ m	堤体積 $m^3 \times 10^3$	建設年度	備 考
1. Pontebba	23.50	1.55	1901—1902	
2. Fusino	59.00	42.00	1920—1924	
3. Furlò	62.22	—	1921—1925	
4. Pieve di Cadore	112.00	377.00	1946—1949	
5. Cecita	55.00	60.00	1949—1951	
6. Val d'auna	53.00	54.00	1950—1951	
7. Prà da Stua	42.87	30.50	1950—1951	
8. Publino	42.00	34.00	1950—1951	
9. Forte Buso (Travignolo)}	110.00	260.00	1950—1952	
10. Lago di Valsoera	54.00	37.00	1950—1953	
11. Beauregard	132.00	430.00	1951	建設中
12. Fiastra	87.00	160.00	1955	
13. Pian Telesio	80.00	380.00	1955	
14. Piaganini	45.50	26.00	1955	
15. Monte su Rei	100.00	—		建設中
16. Bellicai	30.00	—		
17. Cancano II	132.00	490.00		建設中

Lumiei ダムの模型について比較した結果、決定的ではないが周辺継目のあるものの方が応力が小さく分布もよかつた。

(電力技術研究所 西沢紀昭)

洪水波にともなう土砂濃度のおくれ

“The Progressive Lag of Sediment Concentration with Flood Waves”

S.G. Heidel

Trans. A. G. U., Vol 37, Num 1, Feb. 1956

Wyoming と Montana にまたがる **Bighorn** 河での出水時の観測の結果、一般に含有土砂量のピークは流量ピークよりもおくれ、その傾向は単一降雨が、サンプリングの場所より上流数マイルに始まる一つの洪水波を起したとき、最も明瞭にあらわれた。

Johnson (1943) は、小河川で土砂の最大濃度は最大流量よりいくぶん先行するが一致すると述べた。**Benedict** (1948) は、含有土砂濃度のピークは流量ピークと同時に起るか、最高水位より約 4 日も先立つと指摘した。本報告においては濃度が洪水波よりもおくれる実例をいくつか紹介している。**Lewis** (1921) は **Tigris** 河の **Amara** で 1918 年 1 月洪水で、濃度ピークが流量ピークより 3 日おくれたと記録している。

Bighorn 河で 1947—53 年に 4 実測点で **Geological Survey** により含有土砂の日観測が行われた。それら 4 点は上流から **Thermopolis** (**Worland** の上 35 マイル)、**Manderson** の近く (**Worland** の下 14 マイル)、**Kane** (同 69 マイル)、**Bighorn** (同 184 マイル) であり、**Bighorn** の上 3-1/2 マイルに **Custer** の流量観測所がある。**Fifteenmile Creek** は約 500 mile² の流域を持ち、**Worland** で **Bighorn** 河に合流する。年平均流量 (1946—52) は **Thermopolis** で 1708 cfs, **Custer** で 4267 cfs, この河の勾配は **Kane** 河の約 5 ft/mile である。

Fifteenmile Creek の水位が突如上つて、多くの土砂を運ぶとき、**Kane** の近くか下流の支川に降雨のない場合、濃度ピークは流量ピークにくらべて、**Manderson** でわづか 1—5 時間おくれ、その下 **Kane** では 10—20 時間おくれ、さらに下流 **Bighorn** では普通 30—40 時間おくれる。1952 年 4 月 15—16 日に **Fifteenmile Creek** に降雨のあつた場合の実例は 図—1 に示すとおりである。その他さまざまな場合の実測にもとづいて **Bighorn** 河のほとんどのすべての出水に際して濃度の上昇は、水位上昇よりおくれることが認められた。

合衆国での他の河川の土砂含有量調査によれば、濃度上昇のおくれは、必ずしも特定河川での特殊条件の下におけるものとはかぎられないことがはつきり認められた (**Iowa** の **Little Sioux** 河, **Mississippi** 河 **St. Louis**, **Wyoming** の **North Platte** 河)。

Bighorn 河でも **Little Sioux** 河でも下流での濃度の最大値は上流でのそれよりも小さい。**Fifteenmile Creek** からの流入による典型的出水の場合、**Bighorn** 河の最大濃度は **Manderson** で 65000 ppm, **Bighorn** で 20000 ppm 以下であつた。

図-1

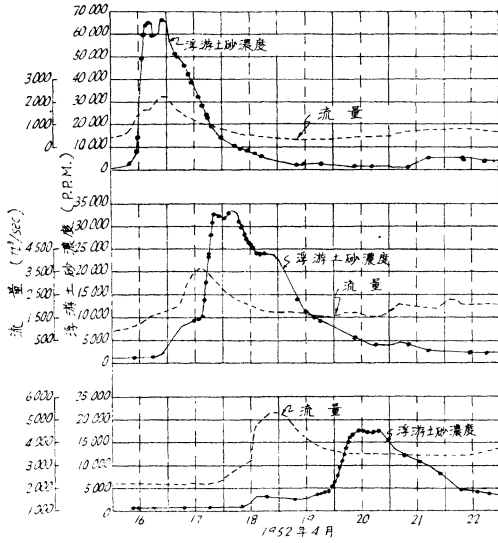
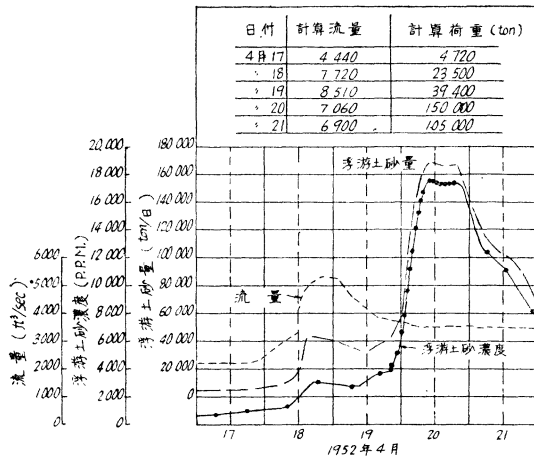


図-2



流量ピークの後に濃度ピークがあらわれることは、洪水波の伝播速度 v_w が流れの平均速度 V より早いという Seddon (1900) の観測と一致する。Gilcrest (1950) と Craya (1945) はさらに Seddon の研究を押し進めた。これらの説によると、土砂粒子は V の速さで運ばれるので、 v_w/v_c は v_w/V と大体同じである (v_c は濃度ピークの伝播速度)。Bighorn 河での 4 回の出水については、 v_w/v_c は 1.0~2.3 の範囲で、 v_w/V の計算値とかなりよく一致していた。この河では流送土砂は比較的細かく、砂は 20% 以下であつたので、土砂粒子は垂直方向に割合均一で v_c と V は比較的近い値であつた。しかし多くの観測例では v_w/v_c は、Gilcrest による v_w/V より大きくなるようである。これは、速度を定める際の洪水ピークと濃度ピークの選び方に問題があり、また流速は表面近くで大きいのに濃度は河床近くで大きいためであろう。

(東京大学工学部 高橋 裕)

Tampa 湾に跨る四車線橋の建設

“Four Lanes Across Tampa Bay at Low Cost”

W.E. Deam

Engineering News-Record, Sept. 20, 1956

フロリダ州の Old Tampa Bay を横断して Tampa 市と St. Petersburg 市とを結ぶ四車線橋の計画はトレスル橋構造物として興味ある対照を示している。というのはすでに 1923 年に “Gandy bridge” として二車線の橋が建設されていたものをさらに今回の計画でこの古い橋を補修復旧するとともに、さらにこれと平行して二車線の橋を新設して四車線に増加した。

この湾の幅は約 4 mile であるが海岸から約 1.5 mile ほど突出した場所を選定したので、全橋長は約 13700 ft (≒457 m) のものである。既設の橋は 16 in のコンクリートパイルの脚に乗る鉄筋コンクリート T ビーム構造で、563 コの 24 ft スパン (計 13512 ft ≒450 m) に分割されており、かつ船舶通航用として二つの跳開橋が設けられてある。今回の橋は既設の橋の北方 80 ft の距離の所に設計けられ、draw span を廃止して 252 コの 48 ft スパン (計 12096 ft ≒403 m) と 20 コの 72 ft スパン (計 1440 ft ≒48 m) および通航水路のところには 74 ft, 86.5 ft, 74 ft の三連続スパンとから構成されている。旧橋との最大の相違は通航水路地点で draw span の代わりに 45 ft のクリアランスをもつ固定スパンを採用した点である。また費用の点でも 25 ft も低い draw span とほとんど変わらず、その上この固定スパンにより水・陸路の交通の完全分離が可能となり、跳開橋の操作費用を省略しうるとともに、跳開橋修理の際にも新設橋により交通は阻害されずにすむのである。新設の橋はおもに路面標高 12 ft の 252 コからなる 48 ft スパンであり、その構造は 20 in² の大きさの合成パイルの脚を基礎とする現場打ちのプレキャスト PC ビームである。この 48 ft スパンは、さらに頑丈な下部構造を必要とする点、すなわち通航水路部分のために勾配が付き始める地点まで続いている。これから先は水路の両側とも 72 ft スパンとなり、これもコンクリートピヤに支持されたプレキャスト PC の単純バリであり、水路用の三連続スパンの部分は、厚さを薄くしかつ架設のスピードアップのために I 型バリ構造となつている。

旧橋は 20 年の間個人所有の有料橋であつたが、1943 年にフロリダ州に没収されたが、非常にひどい状態になつており、州の監理下に移るやただちに補修工事が行われた。必要カ所に鉄筋を組み、下層部分全体を防腐剤でおほつたが、これはこの橋の劣化を阻止するにすぎなかつた。1950 年にとりあえず試験的に 10 スパンだけ補修することになつた。チッピングハンマーで削り取り、さらに sand blasting を行い、洗滌してはなはだしく腐食した鉄筋を補修したりして、橋の下層部を完全に手入れし、全域にわたり鉄筋を組み、もとの厚さまでモルタルを吹付けた。ある場合はモルタル厚が 6 in にもなり、さらに鉄筋を付加して建設当時の厚さとした。

この 10 スパンの修理により再建を評価しえたし、多くの建設技術を試みえた。この費用は 10 スパンで 2.3 万ドル（橋長 1 ft 当り 100 ドル）であつた。引続き 1951 年から残り 553 スパンの補修が行われたが、その費用は約 110 万ドル（橋長 1 ft 当り 81 ドル）を要した。復旧の最も古いカ所はすでに 5 年以上も経過しているが、ヘヤークラックも生ぜず外見上の変化も全くない。少くともこの結果 25 年は寿命が延びたと思われる。

その後交通量も増加し密度も頂点に達したので、1954 年にさらに二車線橋の新設が計画された。新橋のピヤーは水流をなるべく妨げぬように古橋の向い合せになるように、そしていままでの 24 ft スパンでは現在においては経済的に短かすぎるので、その 2, 3 倍の 48 ft および 72 ft とした。通航路のスパンは古橋と同様 86.5 ft とし、クリアランスは平均水位より 45 ft とした。船舶通航による衝撃を考慮して水路両側のピヤーは 25 ft の深さの所にパイルで支持されたコンクリートベースをもつ open coffer dam 構造を有している。この基礎のみが唯一の締切りを必要とした。新設の橋は 48 ft および 72 ft スパンとも PC ビームが採用された。

プレストレスは ϕ 1-1/8" の強鋼鉄筋 (100 000 psi = 7 030 kg/cm²) で post-tensioning 方式で加えられた。コンクリートはタイプ I のセメント 6 袋半と、フロリダ砂および緩結材を含んだ石灰質砕骨材とセメント混和剤を混入した。その配合は 28 日強度で 5 000 psi (352 kg/cm²) になるように決定された。実際に 28 日強度は平均 5 500 psi (387 kg/cm²) 以上であつた。ビームの stressing は打設後 5 日で、少くとも 3 600 psi (253 kg/cm²) の強度があるものとして行われた。この stressing のちに圧力グラウトを行い、鉄筋を完全封かんしてハズミを加えてグラウトによる応力の不均等を消した。基礎は全橋にわたつて砂、泥におほわれた石灰沈澱岩であり、岩の強度もまちまちで海底から岩盤までの深さも 23~40 ft と変化がはなはだしかつた。新設橋の全費用

図-1 不良コンクリートの削除

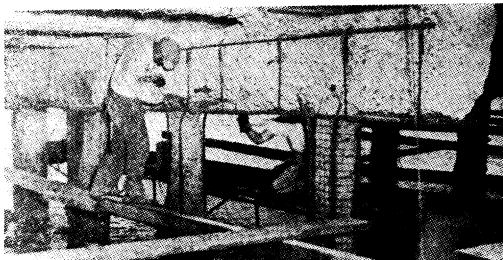


図-2 モルタル吹付け

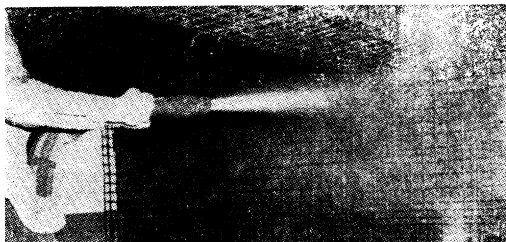


図-3 補修完成

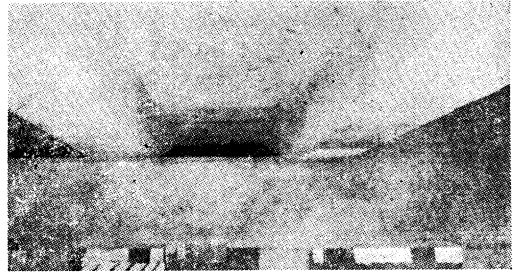


図-4 72 ft スパンにおけるプレキャスト PC ビームの架設作業

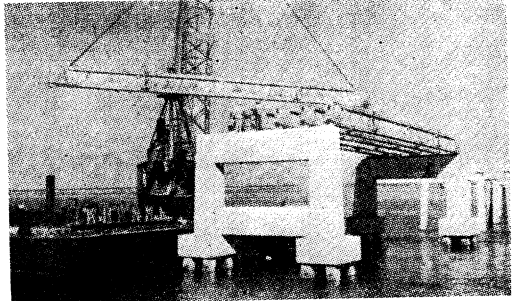
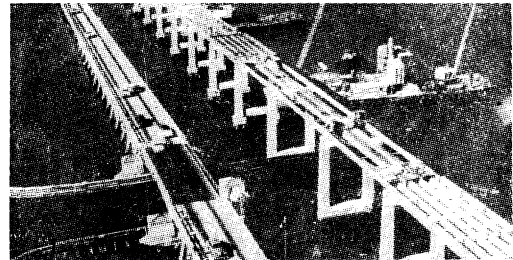


図-5 通航用水路付近（新橋：右方の三連続スパンの固定構造；旧橋：ダブルリーフの跳開橋構造）



は（通航用スパンの付属物、道路照明装置、7 946 ft の魚道、さらに旧橋の 8 コのピヤーの修理も含む）260 万ドルであつた。48 ft のトレスススパンを採用したこの橋の工事費が、1 ft² 当り 4.75 ドルということは、このような大規模な工事においてはプレキャスト PC を採用し、さらにできるだけ簡易化したこの方法が経済的に優れていることを示すものである。

工事費内訳

252×48 ft PC スパン (12 096 ft).....	\$ 1 721 987
20×72 ft PC スパン (1 440 ft).....	512 423
74-86.5-74 ft 通航用スパン (234.5 ft).....	114 092
船舶通行用防眩設備.....	20 279
船舶通行用照明装置.....	10 000
橋梁の照明装置.....	75 000
橋端取付部のスラブおよび歩道.....	4 634
魚道 (長さ 7 946 ft).....	119 190
古い橋のピヤー修理費 (8 コ).....	22 609

計 \$ 2 600 214

48 ft スパン — 12 096 ft — 1 ft 当り \$ 142.36 — \$ 4.75/ft ²
72 ft スパン — 1 440 ft — 1 ft 当り \$ 355.85 — \$ 11.86/ft ²
水路用スパン — 234.5 ft — 1 ft 当り \$ 486.53 — \$ 16.22/ft ²

(建設技術研究所 湯浅 昭)