

## マサ地帯におけるフィルダム築造の問題点と対策

た なか きよう いち  
田 中 恭 一\*

### 1. ま え が き

地質工学的に難点のある基礎の上に、周辺の土石材料を利用してフィルダムを築造する技術の進歩は、ダムの経済性の向上とダム適地の範囲拡大に大きく貢献した。

風化花コウ岩類、シラス、火山砂レキ、溶結凝灰岩、第四紀タイ積層および石灰岩などの分布する地域は、ダムの築造には難点が多く、不適地と評価されてきたが、近年の水需要の大量化と広域化に伴い、これらの地域におけるダム築造上の技術的問題の解決が急がれている。

風化花コウ岩類はマサとよばれているが、これには土壌に等しい状態のものから軽風化岩までが含まれており、マサ地帯とよぶときには、さまざまな風化段階の花コウ岩類の複合体をさしている。

よく、マサとならべて問題とされるシラスや火山砂レキと異なるのは、マサは初生的には岩石であり、それが地質時代を通じて変質、風化を受けた結果、特異な風化物に変ぼうした点であって、シラスなどのように、生成時から特異な性質を持っているものとは構造的に違いがある。

したがって、マサ地帯におけるフィルダム築造の問題は、花コウ岩類の風化機構のあり方と、工学的性質に対して、ダムの立地、基礎および築堤材料の最適な組み合わせを考慮することであり、そこに生じる不調和部分の問題であるといえよう。

### 2. マサの性質

#### 2.1 マサ化作用

“マサ”と一般によばれているものは、粒状化と深層風化で特徴づけられている。マサの母岩は花コウ岩類である。花コウ岩、花コウセン緑岩、片麻岩、花コウハン岩、石英ハン岩およびセン緑ヒン岩など広い範囲の岩石が含まれ、主成分鉱物と風化の様式にもかなりの幅がある。

日本各地に分布している花コウ岩体は、いずれも、多かれ少なかれマサ化を受けている。小出博(1973)はマサの成因について、第三紀末から第四紀にかけての激しい地塊運動により、ブロック化、圧碎現象が起こり、その応力に対して花コウ岩類が、マサ化という形で応じたもので、完全な砂粒状から新鮮な岩石まで、さまざまな段階のものが

あると述べている。

本文では、岩片内の結晶の付着が弱く、ハンマーの衝撃でバラバラに分離するものをマサ、結晶の付着が強く、分離しにくいものを風化岩として区別した。

斎藤実(1972)は岩石の風化作用を細かく分類し、風化の進行の度合いによって生じる主成分の損失、土質工学的性質の変化について考察した。それによると、風化作用はつぎの5つに分けられる。

- (i) 除荷作用, (ii) 凍結作用, (iii) 溶解作用,  
(iv) 酸化作用, (v) 加水分解

岩体自身に静荷重・動荷重によるヒズミエネルギーが蓄積されている。侵食により上載荷重が取り除かれると、岩石内に応力の不均衡が生じ節理や割目が発生する。岩石片内に残るヒズミエネルギーの解放によって、花コウ岩のような粒状結晶質岩石は粒子間結合の弱化をひき起こす。これが除荷作用であり、残りの4つの風化作用の下地をつくる。

大きい割目に浸透する水によって風化が始まると、しだいに成分鉱物の微細な割目を通して鉱物の変質・崩壊へと移行する。その進行の度合いは岩石が地中で受けた荷重履歴や成分鉱物の種類によって支配される。

三浦清ら(1973, 1974)は岩石の風化の度合いを表わすのに主成分の変化量比から新鮮度を定義している。

$$\text{新鮮度} = \frac{\text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO} + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}_{(+)}}$$

また、同種岩石の風化岩の新鮮度と新鮮岩の新鮮度の百分比を絶対的的化学的新鲜度(A・D・F)とした。

さらに、セン緑岩の成分鉱物がADFの低下につれて変化する状態について研究し、ADF=56.2でまず黒雲母がパーミキュライトに変化し、斜長石にも変化があらわれる。ADF=26.81になると黒雲母はモンモリロナイトとの混合物となり、斜長石も完全に分解してハロイサイトになる。一方、角セン石は、ADF 26.81ではかなり変質するが斜長石や黒雲母に比べて安定している。

表-1は島根県の花コウ岩類の造岩鉱物の量比の一例である。花コウ岩は風化しにくい石英、カリ長石を多く含み、斜長石、黒雲母のように風化に対して特に弱い鉱物は花コウセン緑岩に多い。同じ斜長石でもCa<sup>2+</sup>含有比の多い(An%の大きい)ものほど分解しやすい。すなわち、花

\* 農林省 中国四国農政局 地質官

表一 花コウ岩類の鉱物組成

| 鉱物名  | 花コウ岩<br>(三刀屋町伊登)<br>% | 花コウセン緑岩<br>(大東町遠所)<br>% |
|------|-----------------------|-------------------------|
| 石英   | 35.34                 | 22.27                   |
| カリ長石 | 31.80                 | 10.45                   |
| 斜長石  | 30.73<br>(An: 17%)    | 57.76<br>(An: 25%)      |
| 黒雲母  | 1.89                  | 5.53                    |
| 角閃石  | 0                     | 3.54                    |
| その他  | 0.24                  | 0.46                    |

注) An: 灰長石比。大きいほど Ca に富む。  
中国四国農政局: 東島根地域調査資料 No. 15

表二 風化の階程における各成分の損失割合  
(花コウセン緑岩)

|                   | 風化岩     | 下層土     | 表層土     |
|-------------------|---------|---------|---------|
| SiO <sub>2</sub>  | 22.65 % | 22.90 % | 28.26 % |
| MgO               | 6.49    | 20.78   | 55.84   |
| CaO               | 54.32   | 66.08   | 89.58   |
| Na <sub>2</sub> O | 49.86   | 61.04   | 89.10   |
| K <sub>2</sub> O  | 13.71   | 22.98   | 68.95   |
| 全損失量              | 19.30   | 21.00   | 28.00   |

注) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を不変として計算してある。(斎藤による)

コウセン緑岩は花コウ岩に比べて風化しやすく、Fe<sup>3+</sup>、Mn<sup>2+</sup> を多量に含むため、赤色を帯びて細粒分の多いマサになる。これに対し花コウ岩は石英、カリ長石の粒子が残留し、淡色粗粒のマサになる。片麻岩の風化物は黒雲母の分解によりシルト分に富む傾向がある。

斎藤実(前出)は花コウセン緑岩について、風化の階程と主要成分の損失割合の対比を行なった(表二)。

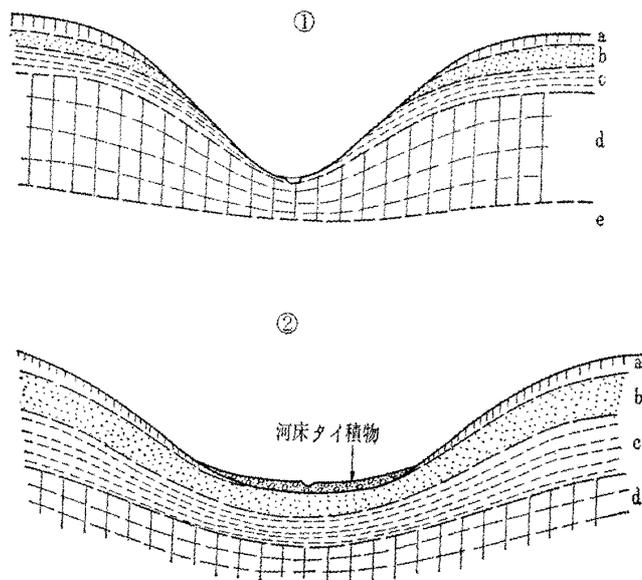
Ca は早い風化階程で失われ、ついで Na, K の順に溶解していくことがわかる。下層土と表層土の損失割合はかなり大きく、下層が切取り面に現われたり、乱されたりした場合、その後速やかに主成分の損失が行なわれることを暗示している。松尾ら(1967)も花コウ岩のノリ面の切取り後の風化の進行は中程度の風化階程において最も大きく、完全風化の表層と未風化の岩盤では小さいことを指摘している。

### 2.2 マサの構造

マグマが冷却する際、収縮作用により初生的節理が形成される。節理系は残液熱水の通り道になり粘土の細脈を生ずる。これを三浦清(1970)は節理粘土とよんだ。

中国地方の隆起準平原にみられる NE-SW および NW-SE の2方向の卓越した線状構造は、地塊運動によって生じた破碎帯と一致するものが多い。破碎帯においては不規則な割目が発達する。

山地が侵食されて準平原に至る過程および、隆起準平原



図一 花コウ岩類の風化構造模式図  
a~e: 風化度(表一三の区分による)

の侵食下刻作用によって岩体に除荷作用が働き、鉛直上向きの引張り応力を中心とする応力の変換が生じ、岩体に低角度の節理系が形成される。

橋川邦武・宮原健二(1974)は、除荷作用によって地形面よりいく分ゆるい上向き引張り破断面(sheeting)が形成され、花コウ岩が層状構造になり、弾性波速度  $V_p$  および弾性係数  $E$  に水平・鉛直方向で 1.4~2.6 倍の差が出る。また、風化の強く進んだ  $V_p < 500$  m/sec ではふたたび等方性化する傾向にあることを指摘している。

風化作用は地表から直接に、また、節理や割目を通して岩石の内部に及んでいく。寒冷期の凍結作用はガイスイ、土石流の生産を速め、温暖期の酸化作用、加水作用は表層部を赤色土化せしめる。

深層へ風化の進行する速度を谷の侵食が上まわると、谷底には未風化岩が現われる。両岸は急傾斜をなし、下部から上部へ向かって風化層の厚さを増す。谷の下刻速度が大きい場合のマサの構造は図一の①のようになる。

高原上の前輪ネ谷や低地の谷におけるように下刻速度が小さいか上昇している場合には同②のようになる。

### 2.3 マサの工学的性質

新鮮な花コウ岩は電氣的抵抗が大きく、比抵抗  $\rho$  は 1500  $\Omega$ /m 以上あるが、風化の進行に伴い結晶の崩壊、間ゲキの増加をきたすと  $\rho$  は低下する。間ゲキが電解質を含む水分で飽和されると  $\rho < 50$   $\Omega$ /m になるが、不飽和の場合  $\rho > 500$   $\Omega$ /m になることがある。

弾性波縦波速度  $V_p$  は岩盤の強さの指標としてよく用いられる。 $V_p$  の大きさは岩盤の密度と関連づけられ、割目のない岩石片の速度  $V_s$  から岩盤の割目の状態を推定することができる。

表-3 花コウ岩類の風化度区分(野外調査用)

| 風化度 |     |         | 硬さの状態  |                         |                  |                 |         | 結晶の付着状態                             |            | 石                            | 長  | 黒                     | 角                | 総合判断 |
|-----|-----|---------|--------|-------------------------|------------------|-----------------|---------|-------------------------------------|------------|------------------------------|--|-----------------------|------------------|------|
| 大区分 | 小区分 | 岩質      |        |                         |                  |                 |         | 英                                   | 石          | 雲母                           | セン石  |                       |                  |      |
| I   | a   | 完全風化帯   | 非常に軟かい | 雨裂ができる                  | ハンマーで足場を作ってもくずれる | テストピースを作ってもこわれる | 粘土質・赤色化 | すべて分離<br>粒子間空ゲキ大きい<br>へき開の分離も進んでいる。 | 細粒化        | カオリンサイト化<br>すべて粘土化<br>ハロサイト化 | (粘<br>土<br>鉱<br>物<br>の<br>ミ<br>ネ<br>ラ<br>リ<br>ゼ<br>ー<br>シ<br>ョ<br>ン<br>化<br>)<br>モ<br>ノ<br>ク<br>リ<br>ノ<br>イ<br>ト<br>・<br>パ<br>ー<br>ミ<br>キ<br>ユ | 粘<br>土<br>鉱<br>物<br>化 | ブルドーザーで掘削容易      |      |
|     | b   | 強風化帯    | 軟質     |                         |                  |                 | 等方質     |                                     | 表面平滑       | わずかに白色化                      |  |                       |                  |      |
| II  | c   | 中風化帯(岩) | やや軟かい  | 雨裂ができない                 | 足場を作れる           | ハンマーでは足場を作りにくい  | 節理風化    | 部分的に付着しているが、大気にさらすと急速に分離            | 表面自形結晶面を保存 | 半数が白色化                       | 新<br>鮮   | 新<br>鮮                | 可能<br>リツパーで掘削    |      |
| III | d   | 軽風化岩    | 硬質     |                         |                  |                 | 節理風化    |                                     |            | 一部白色化                        |  |                       | 火<br>薬<br>使<br>用 |      |
|     | e   | 未風化岩    | 非常に硬い  | 割目や節理にそって結晶の付着力が弱まっている。 | 透<br>明           |                 |         |                                     |            |                              |  |                       |                  |      |

透水係数は空ゲキの増加に比例して大きくなり、強風化岩で  $10^{-3}$  cm/sec オーダーになるが、表層の完全風化土では細粒化が進み大きい空ゲキも閉じて  $10^{-4}$  オーダーに下がることがある。

表-3 は野外においてマサを区分し、切取りの基準を得るために作成したもので、用土採取や土地造成計画に用いている。表-4 は同じ区分について工学的数値の範囲を示したものである。

ブルドーザーで掘削可能なc層までの厚さは、高縄半島

表-4 花コウ岩類の風化度と工学的性質

| 風化度 | $\rho$ (Ω/m) | $V_p$ (m/s) | N           | P (kg/cm <sup>2</sup> ) |         |
|-----|--------------|-------------|-------------|-------------------------|---------|
| I   | a            | 100~300     | 300~400     | <20                     | 2~4     |
|     | b            | 300~500     | 500~1,000   | 20~50                   | 7~15    |
| II  | c            | 400~1,000   | 1,000~1,500 | 50~50/5                 | 20~40   |
| III | d            | 1,000~5,000 | 1,400~2,500 | 不 能                     | 100~300 |
|     | e            |             | 2,500~4,500 | "                       | 不 能     |

や香川県の果樹園造成の例では 25m を越える。

マサの粒度は岩質と風化度によって異なる。図-2 は領家型片状花コウ岩のマサの粒度分布を示すもので、a~c層から採取している。曲線は3グループに分かれる。①の3~5は二次タイ積物を含み、0.06mm付近に集中がみられるが、他の土は粒度分布のよい土である。

粒度分布の特徴は含水比・密度・セン断強度と密接な関係がある。図-3 は含水比と密度の関係で、粒径のあらい土は最適含水比が低く、現場含水比はさらに小さい。

最大乾燥密度は最適含水比ときわめて良い相関を示す。

図-4 は含水比を最適・D-95のwet側および同dry側にとって突固めた試料のセン断強度である。粗粒マサの摩擦角は30°以上と大きく、含水比を変えてもほとんど差が出ないが、粘着力はwet側で大きくdry側で小さい。

これに対し、細粒のマサは最適含水比が高く、wet D-95ではc・φ共に急激に小さくなる。節理や割目の発達した異方性の強いマサの自然斜面におけるセン断抵抗は等方質マサのそれより小さい場合が多く、節理粘土の力学的性質や傾斜に注目する必要がある。

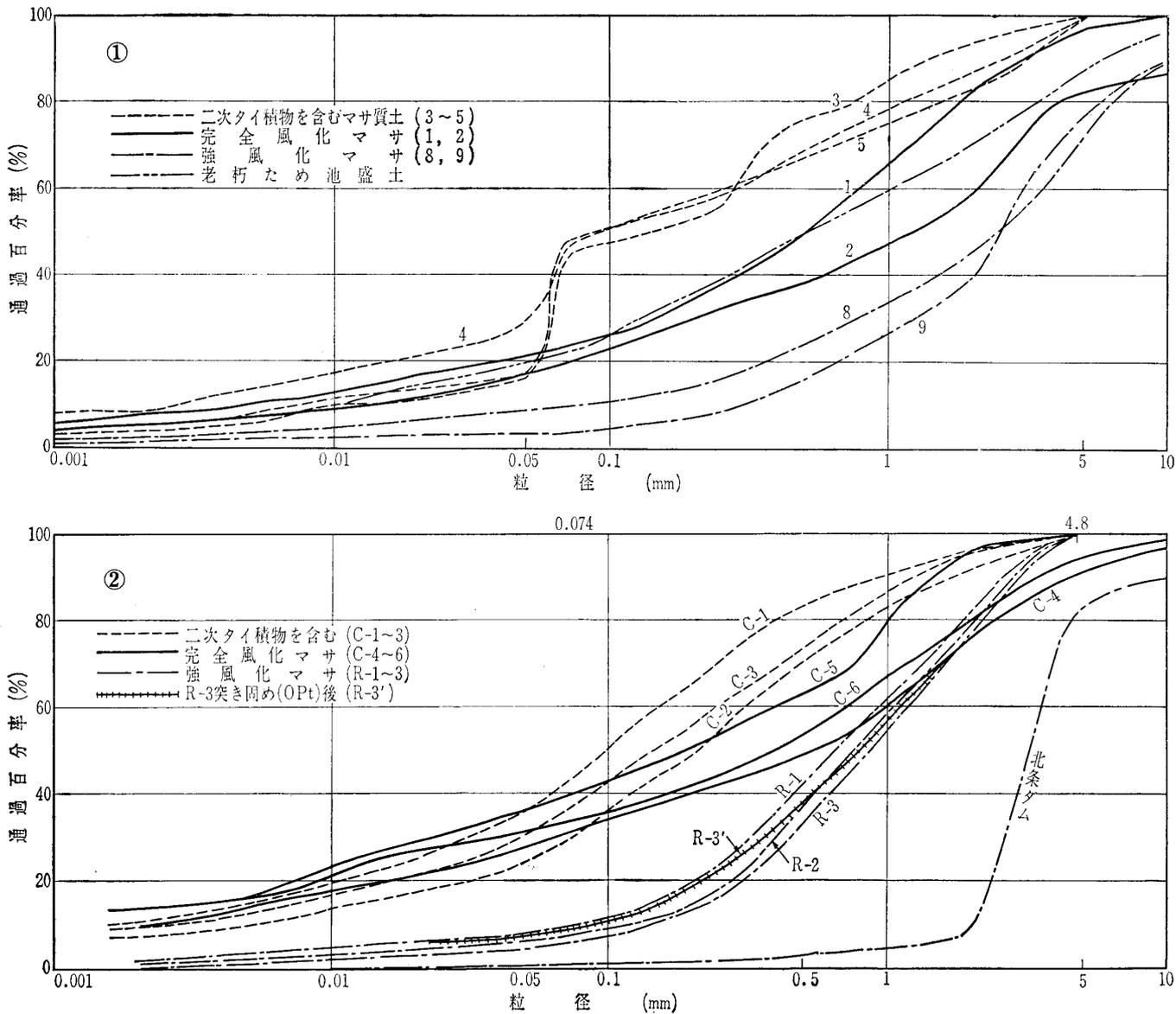


図-2 マサの粒土分布

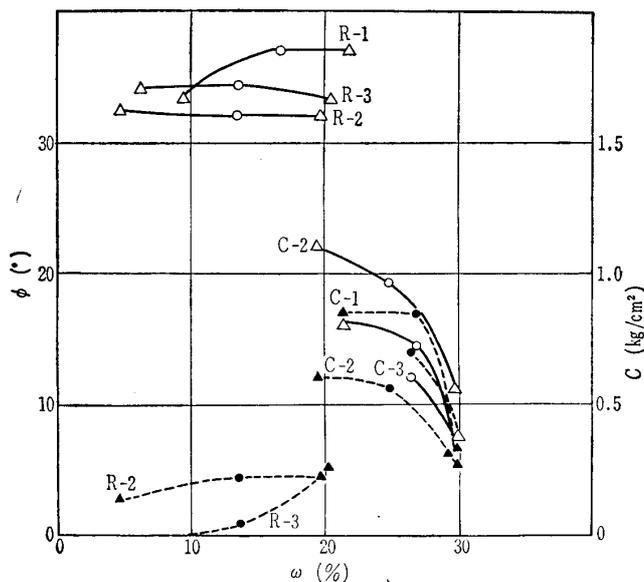


図-3 含水比とせん断強さの関係(菊間)  
 摩擦角  $\phi$  ○; OPt △; D95 U-U  
 粘着力  $c$  ●; OPt ▲; D95

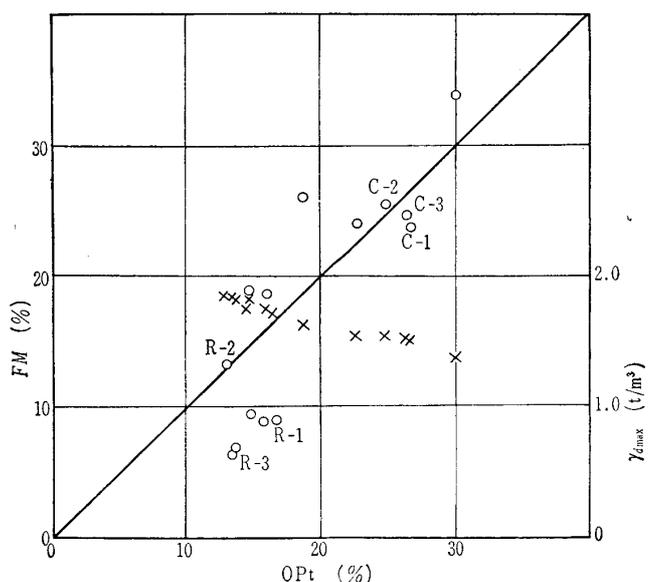


図-4 含水比(現場~最適)と最大乾燥密度  
 ○; 含水比 ×; 最大乾燥密度

### 3. フィルダム築造の問題点

#### 3.1 フィルダムの立地

ダムの位置を選ぶ場合の条件は、①ダムサイトの地形・地質、②ポケットの地形・地質、③築堤材料調達、および④貯水量にみあった流域の規模、の4つが調和がとれていることで、マサの構造に4つの条件がうまく適合するよう検討する必要がある。

中国山地を例にとれば、500~700mの吉備高原面形成後開析されて300~450m および100~300mの定高性の侵食面が形成されている。各面の間は谷の下刻に伴い急流区間になっている。

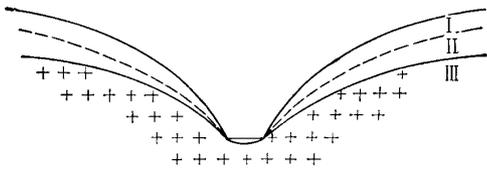
高原上では河川のコウ配はゆるく、谷幅も広い。侵食基準面停滞期の風化進行と埋積により谷底の岩盤は深い。深層風化が著しいため細~粗粒の築堤用土がまとまって確保できる。基礎に難点はあるが、小規模のフィルダムは可能。

急流区間では図-1 ①のように、谷幅は狭く、岩盤が浅い。流域が広い場合には洪水量が大きく、これを排除する余水吐を急傾斜で岩盤の斜面に設置する工事費がダム建設費の大きい部分を占め、堤体越流の重力式の方が有利な場合がある。総合的には、急流区間の最上流部にダムサイトを置き、高原上の広いポケットと、採取容易な築堤材料の組合わせの可能な地点で、流域面積  $A$  ( $\text{km}^2$ ) と貯水量  $C$  ( $10^6 \text{ m}^3$ ) の比が  $A/C=3\sim 10$  が有利である。

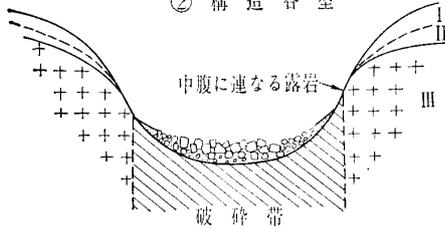
#### 3.2 ダム基礎の種類

マサ地帯における谷の断面には図-5のようなものがあり、ダムの基礎地盤としてさまざまな問題をもっている。

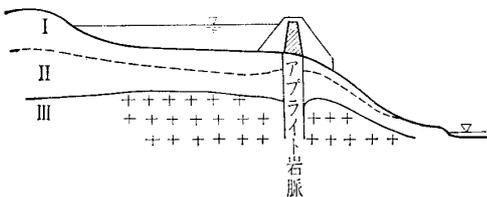
①-a 一般タイプ



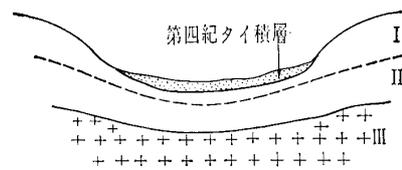
② 構造谷型



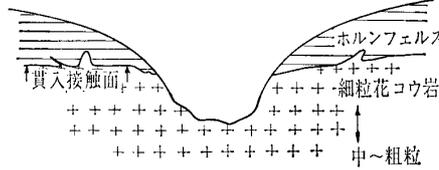
③-b 岩脈型



①-b 埋積谷型



③-a 貫入接触型



④ 不整合型

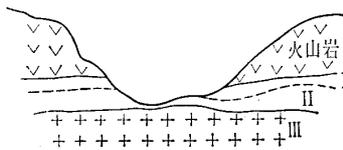


図-5 基礎地盤の種類 (I~III風化度の大区分)

#### ①-a 一般タイプ

図-1の①と同一のもの。堤高が低い場合には重力ダムと比較が必要。堤高が高くなると両岸高位部のマサの支持力、透水性対策が重要な課題になる。

#### ①-b 埋積谷型

図-1の②と同一のもの。基礎岩盤線が深いため、掘削工法と地盤改良工法との比較が問題になる。高堤高のダムには不適である。

#### ② 構造谷型

破碎帯や断層を侵食して生まれた谷で、両斜面中腹に露岩がみられるのに対し、谷底には風化岩、岩塊、ガイスイが分布する。ダム礎基としては難点が多い。

#### ③-a 貫入接触型

花コウ岩が貫入して既存の岩体との接触部で熱変質を与え、花コウ岩自身も接触面近くが急冷して細粒の結晶度の低い縁辺相をなす。瀬戸内海の島々ではこの接触面がほぼ水平で50~150mの標高にあり、みかけ上上位の古生層はホルンフェルス化している。中野ダム(広島県)はこの接触面をまたいで築造されている。

#### ③-b 貫入岩脈型

花コウ岩に貫入した岩脈の中にはマサ化を受けていないものがある。これをダム基礎の主要部に利用した例は浮島ダム(山口県)のアプライト岩脈である。

#### ④ 不整合型

花コウ岩の侵食面上に火山岩やタイ積岩が重なる場合で、花コウ岩の表面にはマサが厚く残存する例がある。

#### 3.3 基礎処理の問題点と対策

菊間地区は愛媛県高縄半島の西北部で、100~200mの丘陵に広がるみかん園のかんがい事業である。ダムは東南の300~400mの侵食小起伏面を菊間川が下刻する急流部の上流端に選ばれた。ダムの名称は「歌仙ダム」で48年度に完成した。マサ地帯のダムの一例として紹介する。貯水量360千 $\text{m}^3$ 、堤高41.0mと小規模である。

ダムの縦断面は図-6のとおりで、基礎地盤の型は一般タイプに属するが、片状花コウセン緑岩を主体とし、左岸に圧砕片状花コウセン緑岩、右岸に捕獲された黒雲母片岩が分布し、貫入接触型の性格も有している。

河床から15mの高さまでは両岸共急傾斜で岩盤も浅いが、EL 165m付近に岩盤Gの平たん面がみられる。この平たん面は谷の下刻に停滞期があつて、当時の谷底付近において深

## No. 864

層風化が進んだことを暗示している。

電気探査、地震探査、ボーリングおよび横坑において岩質区分を行なった。地下水がほとんど含まれていないため、弾性波速度層区分が最もよく岩質に適合していた。岩質記号は表-3の風化度区分と対比すると、PG=b, SG=c, WG=d および G=d~e となる。

中心コアの基礎は、貯水深20m以上の区間ではG層に、20m以下の区間ではWG層に着くよう掘削線が決定された。透水係数は、PG, SG層で  $10^{-4} \sim 10^{-3}$  cm/sec, WG層で  $10^{-4}$  オーダーであり、G層でも  $10^{-5} \sim 10^{-4}$  cm/sec を示した。透水機構は、G層およびWG層の圧砕岩部では節理、割目を主とし、WG~PGの片状花コウ岩および黒雲母片岩は粒子間空ゲキを主とし割目の透水を伴う。

基礎地盤の透水対策として当初、図-8のaのように計画掘削線の2m上まで第一次掘削をし、そこから深さ2mまでのブランクットグラウト(C:W=1:1)を行ない、ついで2m, 10m, 10m, 10mと3~4ステージのグラウトを行なったのち、2mのオーバーバーデンを掘削して、その上にコア土を盛り立てる計画であった。

グラウト No. 39~54の第1期注入においては図-7のように圧砕岩と片状花コウ岩の両者にわたっているが、全体的に  $2 \text{ kg/cm}^2$  前後の注入圧で割目からのリークが盛んになりコーキング不能である。検査孔による透水試験の結果、ある程度の改善はみられるが、目標値とした  $k < 1 \times 10^{-5}$  cm/sec には達しない。1m掘り下げて注入効果を観察したところ、圧砕岩の割目は $1/2$ 以上が充てんされているが、片状花コウ岩はマサ質で、注入孔から10cmの範囲にさえセメントの浸透がみられない。マサに厚さ5~15cmのアプライト脈が数枚貫入している。これにはタテに割目が入り、注入孔から8mの地点でセメントの充てんがみられた。

このような状況から、マサについては、その粒子間空ゲキにセメントグラウトを浸透せしめることは不可能であるが、アプライト脈に注入することによって全体としての改善は期待しうる。圧砕岩の多数の割目は注入孔と直接交わる空ゲキからはグラウトを受け入れるが、隣接注入孔との間に独立する空ゲキは未処理のまま残されることがわかった。

原計画の工法で全区内を実施するには不安があるため、割目の多い岩盤の表面1mをコンクリートで置き換えこれをグラウトキャップする工法に変更した。(図-8のb)。このコンクリートは単なるグラウトカバーではなく、人工基礎であり、コアの基礎としての完全さが要求される。

この完全不透水キャップにより、注入孔周辺から地上へのグラウト逸出をしゃ断し計画圧力を確保する。空ゲキを上向きに浸透するグラウトはコンクリートの底面に突き当たって水平方向に広がり、隣接する空ゲキへ浸透していく。この多重短絡効果によって未処理空ゲキの残存が僅少になり、ダム基礎として最も重要な表層の改良度向上がはたされる。

工法変更の前後における比較を表-5に示した。追加注入セメント量はキャップのコンタクトグラウトで  $17 \text{ kg/m}$ 、第1ステージで  $21 \text{ kg/m}$  と大きく、透水係数は  $10^{-6}$  cm/sec オーダーに改良され、表層での補足充てん効果が確認された。

マサの注水圧と透水量の岩質による特徴をみるための透水試験結果を図-9に示した。PG層では圧力が  $3 \text{ kg/cm}^2$  を越えると透水量は増大し、最高圧からしだいに圧力を下げても透水量は当初の4倍になり、マサ層に割目の発生もしくは細粒分の溶脱が始まったことが推定される。一方、WG層では注入水頭が  $6 \text{ kg/cm}^2$  までは透水量も比例しているが  $6 \text{ kg/cm}^2$  を越えると透水量が急増し、パイピング

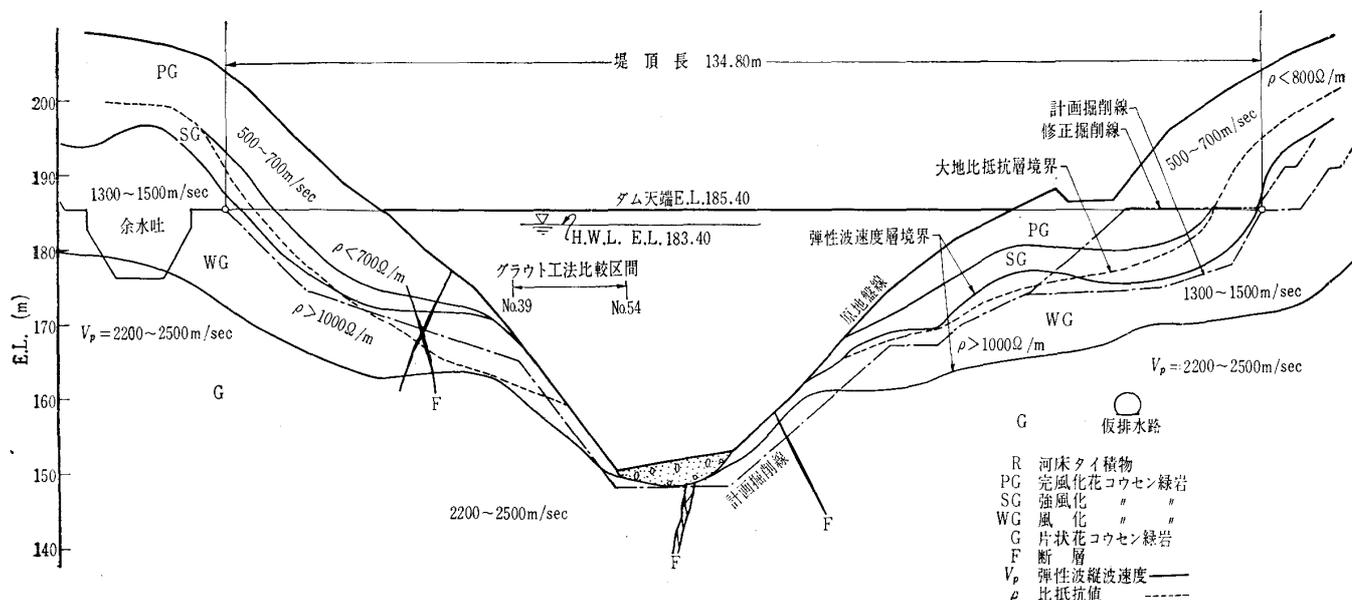
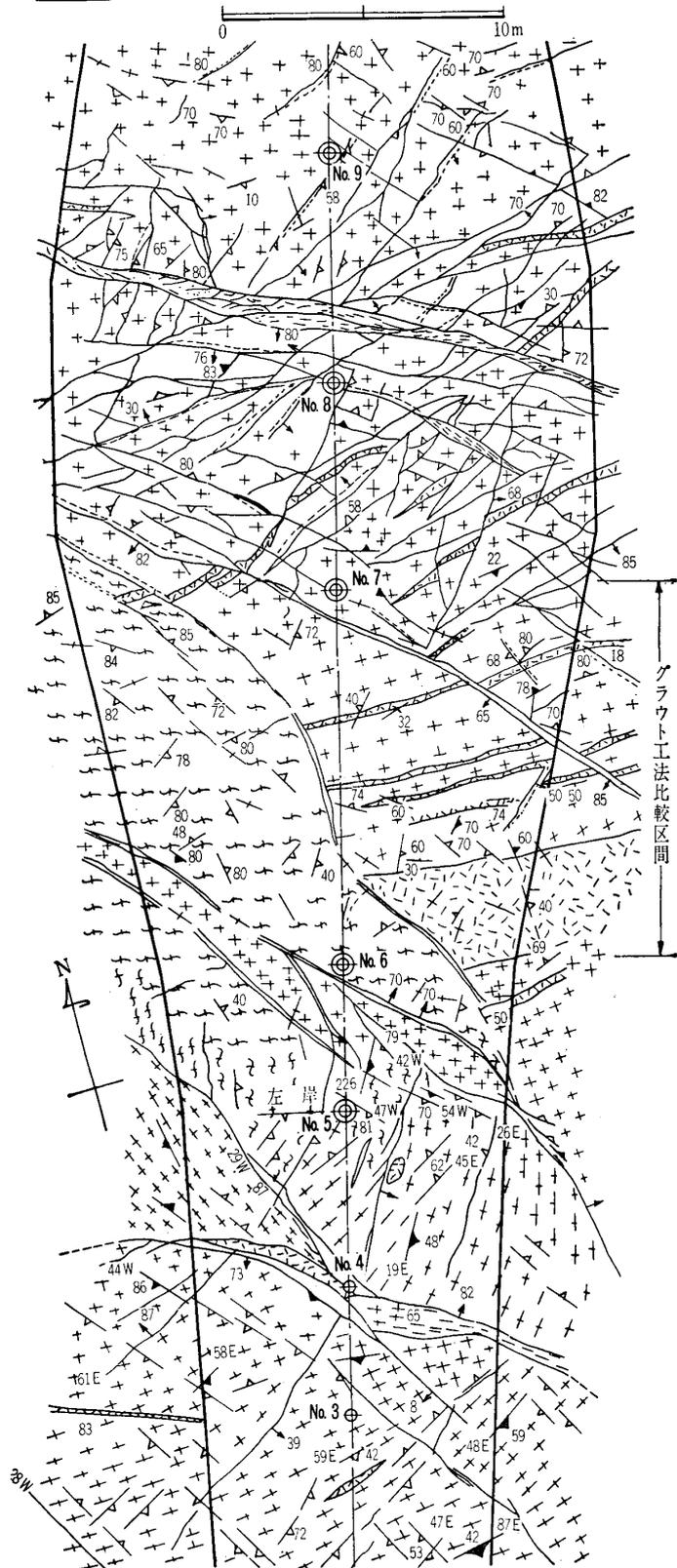
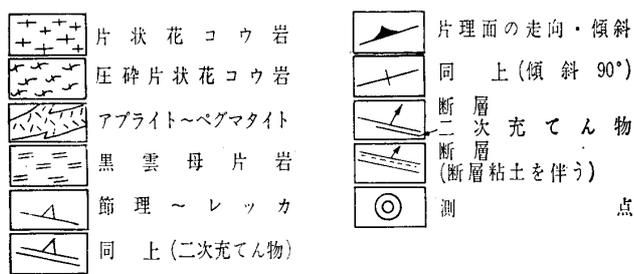
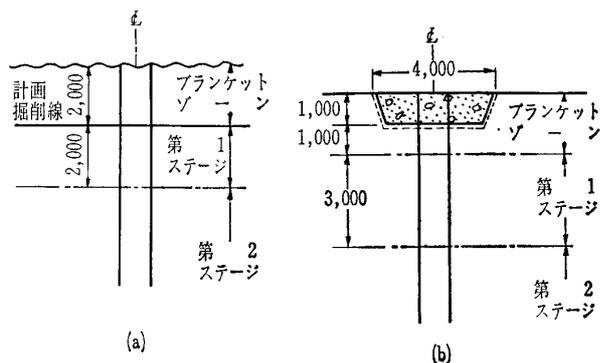


図-6 菊間地区歌仙ダム地質縦断面図



図一七 歌仙ダムコア基礎地質平面図



図一八 グラウト工法の変更 a→b

する場合と、降圧時に完全可逆性を示すものがある。WG層のパイピングは黒雲母片岩の節理にはさまれる粘土脈の洗い出しによるものと考えられている。

このようにマサのパイピング抵抗は  $3\sim 6 \text{ kg/cm}^2$  の範囲にあり、PG と SG 層をセメントグラウトにより改良することは容易でない。右岸天端(図一六)の1点鎖線と2点鎖線に囲まれた範囲はPG と SG が厚く、これを掘削することは付替道路上部の切取りに影響するところが大きい。そこで、高分子系のグラウトにより改良し、透水係数を  $10^{-6}$  オーダーに押えることができ、掘削工法の工事費の48%を軽減せしめた。

### 3.4 堤体材料としてのマサ

フィルダム材料としてのマサの問題は透水性とパイピング抵抗である。

パイピングが発生するのは、浸透水圧に対する土粒子の抵抗力が小さい場合である。マサは一般に低塑性で、締固め不良の場合、盛土の不等沈下や地震によってクラックが

表一五 キャッピングによる追加注入の効果

| 深度 (m) | 第1回注入(a)         |   | 変更後追加注入(b) |                               |
|--------|------------------|---|------------|-------------------------------|
|        | m当たり注入量          | 改良後のk   | m当たり注入量    | 改良後のk                         |
| 0      |                  | $2.3 \times 10^{-5}$                              |            |                               |
| 2      | 第1ステージ<br>49kg/m | $2.4 \times 10^{-4}$<br>cm/s                      | 第1ステージ     | $9.1 \times 10^{-6}$<br>cm/s  |
| 4      |                  | $3.7 \times 10^{-5}$<br>~<br>$6.6 \times 10^{-5}$ |            |                               |
| 6      | 第2ステージ<br>3kg/m  | $4.3 \times 10^{-6}$<br>~<br>$3.6 \times 10^{-5}$ | 第2ステージ     | $5.06 \times 10^{-6}$<br>cm/s |
| 8      |                  |   |            |                               |
| 10     |                  |   |            |                               |
| 12     |                  |   | 2.4kg/m    |                               |
| 14     |                  |   |            |                               |

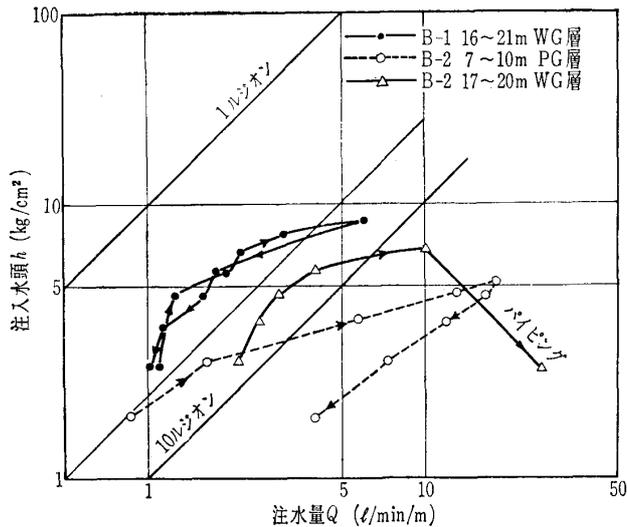


図-9 注入圧力と透水量の関係(歌仙ダム)

発生すると土粒子結合の著しく弱い部分が生じ、浸透水圧の増大にあうとパイピングが起きる。

図-2に示した領家型マサの塑性指数  $I_p$  は試料番号1~5(統一分類SM)で13.4~21.8%, C-1~3(SM)で14.3~18.8%, C-4~6(SC)で11.4~12.6%となっており、風化度  $a$ ,  $b$  マサは中高塑性土でパイピング抵抗性は小さくない。ランダム用土の8, 9, R-1~3は塑性性が小~無であり粒度分布はよいが、パイピング抵抗は小さい。コア土には  $a$  マサを確保することが第一である。

R-3の0.074mm通過率  $P_{74}$  は5%であるが、最適含水比で標準締固めを行なったあとでは0.3~1.0mmの粒子が微粒化し、 $P_{74}$  は10%に増加(R-3')している。

重機を使用して反覆転圧を行なえば微粒化はさらに大幅になる。規模の大きいダムで、中~高塑性の不透水性材料がダム付近で確保できない場合、この方法で粗粒土を調整して施工する例がある。

この強制微粒化工法にはつぎのような問題が予想され、安易に採用することは危険である。

表-2の下層土に相当するマサを粉碎した場合、結晶の新しい破砕面に加水分解作用が加速され、長年月の間にはMg, Ca, Na, Kは結晶格子から遊離し、一部は空ゲキを充てんするが、大部分は浸透水の流動に伴い盛土の外に流失して空ゲキ、透水係数の増大をまねく。

また、2価のFeは酸化されて3価になり  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$  として流出する途中でノリ尻付近の透水性盛土の表層に褐

鉄鉱として固まり、空ゲキをふさぐため堤体の浸潤面を押しあげ、パイピングとスベリの抵抗を減じる。

パイピングが主因とみられる欠壊事故を起こしたある老朽ため池の盛土断面には著しい成層構造を示している。堤体の表層は図-2に示したように粒度分布のよいマサであるが内部には厚さ0.2~1.0mのシルトが5層、黒雲母が7層、マサ土の中に互層状にはさまれている。マサの現場密度は、藤井弘章・森脇洋(1972)によれば最大乾燥密度  $1.785 \text{ g/cm}^3$  の86~92%で  $n=5$  回に相当し、透水係数は  $10^{-4} \text{ cm/sec}$  オーダーで、粘着力は  $0.2 \sim 0.32 \text{ kg/cm}^2$ 、摩擦角は  $30 \sim 33^\circ$  あるが、含有粘土は含水比が30%を越えせん断強度はきわめて小さい。

約250年前とみられている築造当時の工法を推測すると、この池の東北の谷にタイ積している黒雲母に富む土を中心コアとして搬入したが土量不足のためマサと交互にまき出し、人力転圧したもので、不完全締固めの成層盛土の水平浸透水によって主成分の分解、溶脱が行なわれ、パイピング発生条件が整った。

#### 4. あとがき

マサは母岩の性質によって風化の形態が異なり、同一岩種においても、風化の階程による成層現象を示す。

ダムの位置選定と構造の決定にあたっては、マサの成層構造とよく対応させる必要がある。築堤材料の選択にあたっては風化の階程ごとの土(岩)質の特徴をよくとらえて組み合わせることが有利である。

最後に、香川大学農学部斎藤実教授、ならびに島根大学教育学部三浦清助教授にはマサ化作用について有益な御指導を受けた。また、岡山大学農学部藤井弘章助教授ならびに愛媛県今治総合土地改良事務所からは未公表資料の提供と有益な助言を受けた。ここに記して感謝する次第である。

#### 参考文献

- 1) 小出博: 日本の国土, 東京大学出版会, 1973
- 2) 斎藤実: 風化現象の進行とその度合い, 施工技術第5巻第4号 1972
- 3) 三浦清: 深成岩類の風化に関する研究第1報 新第三紀末の赤色風化作用による江津深成岩体の風化, 応用地質第14巻第3号 1973
- 4) "・桶口和之: 同上第2報 鳥取県日野閃緑岩体の赤色風化, 応用地質第15巻第1号 1974
- 5) 松尾新一郎他: マサ土の工学的性質について, 土と基礎Vol 15 No. 3 1967
- 6) 橋川邦武・宮原健二: 風化花崗岩類の構造とその工学的意義について(その1), 応用地質第15巻第2号 1974 (原稿受理 1975. 2. 13)

※

※

※