

転圧土堰堤の安定化に影響を及ぼす土の間隙中の空気量について

転圧土堰堤の築造に関し、従来効果的な締め固め方法について R. R. Proctor 以来多くの研究が行われて来ているが、締め固められた土の安定度がその上に乗る盛土の自重の増加に従つてどのように変化するかについては、最近まで殆んど研究が行われていなかった。

Los Angeles の E. R. Hallet 氏は1950年に ENR 誌 June 1 号に報文を寄せて、転圧土堰堤の間隙中に存在する空気が、盛土が高くなつて行くに従つて増加する圧力のために、間隙中に空気と同時に存在している水の中に次第に吸収されて行き、盛土の高さが或る限界を超えると空気が全部水の中に吸収されてしまつて、効果的に締め固められた土堰堤が水で過飽和の状態となりそのために崩壊する危険があり得ることを指摘した。

Hallet 氏によれば、盛土を密にして飽水やその他の原因によつて破壊することがないように最適含水比（築造用土と締め固めの方法とが一定ならば、締め固めた土の乾燥重量が最大となるような施工含水比）で転圧された土堰堤の内部に於いても、盛土が高くなつて行くに従つて土粒子が落ち付いて間隙が減少するために、間隙の中に存在する空気と水とは次第に高い圧力を受けるようになる。水は圧縮されないで、圧力に従つて空気のみが圧縮されて水に吸収されて行く。高圧の空気が盛土の外に逃げ出す可能性を無視する（安全側だから）と、圧力がある高さ以上に達すれば事実上空気は全部水に吸収されて盛土は水で飽和した状態となる。土粒子が更に間隙を減少させるように落ち付こうとすれば、増加する荷重はすべて非圧縮性の水にかゝつて間隙圧が著しく増加し、そのために土の摩擦力が減少して終には斜面の滑動が起るようになる危険がある。築造中の盛土についてこのような危険の可能性を簡単に予測して、築造方法をコントロールする目安とするために、Hallet 氏は 図-1 ような形式の図表を作り、Los Angeles の Baldwin Hills 貯水池土堰堤築造工事に当つて用いた。

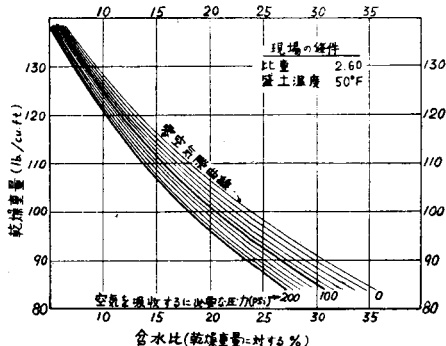
図表は後に述べるように比重と盛土温度の各組み合わせ毎に別々のものが必要で、図に示すものは比重2.6、

盛土温度 50°F の場合に用いられる図表である。

図表の使用法は次のようにする。先ず現場の試料についての試験から、盛土の含水比とその含水比に対する乾燥重量とを求め、この2数に対応する点を図表上に印す。この点はいたいの場合図表の曲線群の中に落ちる。例えば、含水比17%で乾燥重量 110 lb/ft³ の試料ではこの点は第3番目の曲線上に落ちるが、これは間隙中に存在している空気を完全に水の中に吸収して盛土を飽和状態とするためには 40psi. の圧力を増加させればよいことを示している。現場での概算のためには盛土の高さが 1ft 増加すると圧力が 1psi. 増加するものと仮定しても大過ないから、この例では、40ft までは盛土の高さを増加しても安全であるが、それ以上に高さが増すと危険状態となる恐れがあることになる。この場合増加した盛土重量の一部が土の構造組織によつて支えられることは無視してあるが、これは安全側だからである。若し、もつと少い含水比でも十分良い締め固めが出来れば、次に転圧する土の含水比を減少させるならば盛土は安全となる。前の例では、含水比を17%から15%に減少させると圧力は 140psi. まで増加しても良いことになるのに注意すべきである。

含水比を減少させると良い締め固めが出来ない時は起り得る間隙圧を更に正確に計算する必要があるので盛土の中に圧力計を装置することが望ましい。或る場合には、圧密によつて生じた間隙圧は十分な時間をかけると盛土の中に消散することがあるので、このような場合には盛土の築造速度を遅らせると危険状態とはならない。

図-1



このような図表を作製する根拠になつて居るのは、或る温度に於いて或る液体が吸収する気体の量は、その、液体に接して存在する気体の圧力に正比例することを述べている Henry の法則である。図表中の曲線群は種々の飽和率 (saturation ratio—即ち土の含水比

のその土が水で飽和した場合の含水比に対する比)に対応するものであつて、一番目の曲線は飽和率 1, 即ち零空気隙曲線である。二番目以下の曲線は飽和する前に 20psi, 40psi, 60psi 等の圧力に耐え得るような飽和率について画いたものである。飽和率を知つて含水比に対する乾燥重量の曲線を描くには、土粒子の真比重が既知でなくてはならず、又、図表を描くのに適当な飽和率を計算するに必要な Henry の法則は温度の函数であるから、先述の通り、盛土温度と比重の各組み合わせ毎に別々の図表が必要となるのである。

(水野博史)

マスコンクリートダム建設に於ける温度調節問題

Western Construction, July 1950より要約

1. 概説 本文はアメリカのマスコングリートダム工事に於ける温度調節の問題を取扱つたものである。この問題は長年の間研究されていたが、技術者が之の対策を講じなければならなくなつたのはこの20~30年以來である。温度調節が問題となつて来た原因は2つある。第一は最近30年間に造られたマスコングリートダムの寸法が大きくなつたこと、第二はダムの寸法が大きくなるにつれて高速度且つ大規模な建設々備が発達したことである。[現在では 60~120m]の高さのコンクリート重力ダムは普通になつてゐる。温度調節を行わない結果生ずる主な2つの問題は

a. ダムの連続性を破ること、クラックの寸法が大ききその範囲が広いと構造物としての安全性に著しい影響がある。

b. ダムの中に水の侵入路を造りその運動を起させ風化作用の始まりとなり又それを継続させる。

最初ポートランドセメントの物理的・化学的性質が熱発生に及ぼす影響に就て専ら研究された結果現在の5種類のポートランドセメントの内の2つが出来た。Ⅱ型とⅣ型が之である。之と同時にマスコングリート中の温度変化の研究が進められその結果大型構造物中の温度の数学的解析が発達した。この研究により自然伝播による熱の分散の値が分り温度調節の方法としては建設工程を制限する事が採用された。更に嚴重な調節が必要な場合は強制冷却及び予備冷却が行われて来た。最近強度その他を変えずに最少量のセメントを使う方向に進み、このため砂の仕方が嚴重になり且つその均一性が要求されるようになった。

2. 温度昇降の循環 マスコングリートの建設

に関連してダムの一部に張力を生ずるような内部応力 (Restraint) を伴う場合2つの顯著な条件がある。この内部応力が如何に作用するかを十分解明するためには先づ建設の前後に生ずる温度変化の循環を知る必要がある。先づ施工の際にはコンクリートの温度は人工冷却の影響を受けない限り普通は平均気温に近い。次に硬化熱により温度は上昇し一旦最高まで昇つて次には低下が始り最後に定常状態になる。大きいダムでは季節的の温度変化は表面に近い部分にしきいて来ない、温度循環の3つの要点は、(1)施工温度、(2)最高温度、(3)安定温度で之等に影響を与える最も重要な条件は a. セメントの発熱の性質、b. セメント使用量、c. コンクリートの熱特性、d. 施工計画、e. 気候状況、f. 特殊熱処理法である。

3. 温度変化により何故クラックを生ずるか すべてのマスコングリートダムに生ずる内部応力の顯著なもの一つは基礎附近に於けるものである。最初コンクリートの温度が昇る時はそれに圧力傾向を生じ、最高温度を過ぎて低下するにつれこの圧力は減少し更に温度が下ると基礎との附着力により張力が生ずるようになる。コンクリートの弾性的並びに之に関連した性質が変化するため張力の影響は非常に著しい。之は古いコンクリートの上に新しく打設した場合も程度は低いが同じような内部応力を生ずる。もう一つの著しい内部応力はダム内外の温度差によるものである。之の最も普通の場合は表面近くが気温と同じで内部が相当に高温な場合である。即ち外部に張力、内部に圧力が働く。このような状態で気温が急激に低下するとクラックを生ずる傾向が非常に強くなる。夏又は初秋に打つたコンクリートは秋又は冬にクラックを生ずる。冬の終又は早春に打つた場合はクラックが少い。現在の陸軍技術部の仕書にはこの種のクラックを減らすための条項が2つある。第一は洪水吐のために残す場合を除いて隣り合つたブロックの高さの差を 7.6m(25呎)以上にしなないこと、第二はコンクリートの温度と気温に大きい違いのある場合は型枠や保護施設を取除く際コンクリートの表面が 14°C 以上急に下らないようにする。

4. 温度調節のための基礎的方法 現在コンクリートの温度調節のための特殊方法即ち予めコンクリートを冷却し又クーリングパイプによる方法等が表面に出ているが一般に他の温度調節の方法が使用されている事実を見のがし勝ちである。基礎的方法と云うのは次に示す3つの方法である。

- a. 低熱セメントの使用: Ⅱ型又はⅣ型が使われる。
- b. 貧配合のコンクリートを使用すること: 140

kg/m³の使用量はダム内部用コンクリートとして珍らしくなく又 168kg/m³位が普通になつている。熱の発生量はセメントの使用量に正比例するからセメントを減らす事は最も有効である。

c. 築造速度に制限を与える事：即ちリフトの高さを一般の場合は 1.52m(5呎)にし或る場所では 0.76m(2.5呎)にする。次のリフトを打つまで施工の進行に制限を与え次のリフトを打つまでに最少限度の露出時間を持たせる。但し予備冷却を行つた場合は温度調節との関連が變つて来る。

5 施工温度を下げる方法 この方法の初期には冷混合水を使用したガコンクリートの全量に較べて少いので 11°C 以上温度を下げる場合は他の成分も同時に冷す必要を生ずる。骨材はマスコンクリートの非常に大きい部分を占めるので施工温度を低下させるのに都合がよい。通常粗骨材の 3種と冷却混合水又は水を使用すれば十分だが 17°C 又はそれ以上温度を下げる場合は他の骨材全部とセメントをも冷す。技術部の仕方ではその方法は規定してなく請負者に任せてある。この冷却方法にも冷却水で冷す場合と空気で冷す場合と 2つある。施工温度を下げててもそれがそのまま最高温度の低下にはならない。気温より相当低い温度で施工した場合の熱の低下は気温に近い施工温度のものに較べて或る期間少い。

6. 施工温度を低下させる限度 施工温度が平均気温より低く且つその差がコンクリートの準断熱温度上昇に等しいか又は大きい場合には、リフトの厚さ又は露出の時間は温度上昇に殆んど影響を及ぼさない事は明かである。このような状態は次の条件に関連が深い。即ち a. 気温が高いこと、b. 使用セメント量が少いこと c. コンクリートの比熱が大きいこと、d. 施工温度が非常に低いこと。従つて温度調節のみの点から云えば適当な条件の下ではリフトの厚さと露出の時間の制限を行わなくてもよいわけであるが、他にリフトを 1.5 m に制限する理由が二つある。第一は下流面の型枠は傾斜しているのでリフトが増加すると益々コンクリートの打設が難かしくなる。第二はリフトを増すと新鮮に保つ必要のあるコンクリートの表面積が増加し、コールドジョイントを防止するのが困難になる。露出時間のみを考えればコンクリートの温度が平均気温より高い時はリフトの高さを制限するのが有利である。コンクリートの温度を下げる必要のあるのは夏期に多いが、他の季節に平均気温が低い時は相当期間コンクリートの温度は平均気温より高くなる。特に酷寒期はリフトを制限して熱の放出を計るのがよい。又冬期は硬化が遅れるので型枠の移動、清掃及びアンカーボ

ルの固定に時間を要し次のリフトにかかるまでの時間は制限される。

7. 強制冷却による温度調節 在来行われ又現在も行われているマスコンクリートの温度調節の他の方法で特殊のものは、打設後埋設したパイプの中に冷却物(通常は水)を通す方法である。この方法は陸軍技術部では余り採用されていないが開拓庁では広く用いられ又 TVA でも稍広く採用された。他の条件が同じならば冷却の程度は主としてパイプの間隔と冷却水の温度に影響される。この方法は a. 温度上昇従つて最高温度の制限及び b. 最高温度に到達した後の内部温度の低下、に利用し得る。施工温度を考えに入れなければ熱の低下は冷却水の温度が周囲のコンクリートの温度より低い間は可能である。パイプの堅方向の間隔とリフトの厚さは通常等しい。

8. 強制冷却方法の限度 十分な温度調節を実施する必要のあるのは高堰堤の基礎の部分でこゝは内部応力の影響が大きい。又急傾斜の両岸部も然りである。他の部分に於て気温の変化による内部と外部の温度差のためのクラック発生を防止すると云う問題は内部温度を低下せしめる事により解決する。春と夏に施工したコンクリートは 1.5m のリフトで 1.9m のパイプ間隔があれば秋になるまでに安全な温度まで冷却し得る。露出した上部の表面からの放射による熱の損失の効率は温度上昇調節の点からは最高温度に達すればやがて停止する。又コンクリートの温度が気温より高い間は熱の放出が続けられる。パイプ冷却が用いられる所では、普通型枠を設置し清掃するに要する時間は所要露出時間より大きい。

9. 他の特殊方法 上記の諸方法以外に現在或る程度用いられ又は研究されつゝあるものにポर्टランドセメントの熱発生を抑えるために、特殊セメントを混合するか又はボゾランでセメントを一部置き代える方法がある。

10. 冷却法の選択 温度調節法の選択には種々の考慮が払われねばならぬが最も重要なものは a. 温度調節必要の程度、b. 応用の容易さ及び現場の状況の下に於て可能な方法、c. 工費、である。a. が最も重要で、且つ最も判定が困難である。調節必要の程度に影響する要素は多くあるが構造物の高さ(高さ及び中敷)と気象及びコンクリートの弾性的性質の 2つが最も重要である。

温度調節方法の選択に際しては前述の基礎的方法のうち最初の二つが重要である。(即ち低熱セメントの使用とセメント使用量の制限)、後者の方法は屢々論争の