

アルカリ骨材反応による変状の見られる砂防堰堤の現況評価例

住 鉦 コンサルタント (株) ○北健二・真木善久・溝口裕也・高橋健太

1. はじめに

竣工後およそ四半世紀経過した堤高 12m のある砂防えん堤は、重力式コンクリート堤体の表層に亀甲状の亀裂が見られ、その変状形態の特色からアルカリ骨材反応との関連が変状原因として想定される。

砂防えん堤をはじめとする施設に亀裂発生や劣化などの変状が見られる場合、まず、その変状原因を特定し、現況および将来の砂防施設としての機能について評価した上で、変状原因とその状況に適した合理的な補強・補修などの対策の検討を行う必要がある。

当砂防えん堤について、堤体コンクリートの変状原因を特定し、その程度と、さらにそのような変状発生下の力学的な特性を把握し、砂防えん堤としての現況と将来の機能を評価することを目的として、まず、堤体コンクリートの試料採取を行った。

これら採取試料に対する物理・化学的、力学的な試験を実施し、その結果による定量的評価に基づき、変状発生の原因と、今後の劣化の進展について推察を行った。

また、採取した堤体コンクリート試料の強度や変形特性などの力学的特性値をもとに、現況の力学的な安定性について評価するとともに、問題点の抽出を行った。

とくに、堤体コンクリートの力学的特性値の劣化程度の安定性への影響を評価することを目的として、有限要素法 (FEM) による内部応力などの解析を行い、その結果に基づき施設機能上の問題点の把握、評価を行った。

2. 堤体ボーリングによるコンクリート試料の採取と、室内試験の実施

コンクリート構造物のアルカリ骨材反応に関する評価手法等の参考資料としては、旧建設省のコンクリートの耐久性向上に関わる総合技術開発プロジェクト (以下、総プロと略す) の成果が挙げられる¹⁾。

当堰堤コンクリートの変状とアルカリ骨材反応との関連性を定量的に評価するため、この総プロ成果の判定基準に基づく評価を行うこととした。その判定基準とそのための試験項目を表 1 に示す。

この判定のためのコンクリート試験試料は直径 10cm が標準とされ、強度や変形性試験のためのコンクリートコア供試体と最大骨材径に関する標準²⁾、また当堰堤コンクリートの最大骨材径 (4cm) から、ボーリングによる採取コア径は 12cm とした。また、コア採取のためのボーリングは、堤体下流面に直角方向、表層より 4m まで、1 孔とした。採取された試料を用いて、アルカリ骨材反応判定のための試験と、圧縮強度、変形性試験 (静弾性係数、ポアソン比) とを実施した。

(表 1) アルカリ骨材反応の判定基準¹⁾

試験項目	試験結果	点数
コアの外観観察	ゾル、ゲルあり	2
コアの膨張試験	膨張量 > 0.05% / 3ヶ月	3
コアの反応促進試験	ゾル、ゲル発生	2
ゲル分析調査	シリカ分がある	3
骨材のアルカリシリカ反応促進試験 (化学法)	骨材が有害、潜在的有害	2
合計点数によるアルカリシリカ反応判定基準；		
6 点以上…アルカリシリカ反応である		
4.5 点以上…アルカリシリカ反応の疑いが強い		
2.3 点以上…アルカリシリカ反応の疑いが弱い		
0 点 …アルカリシリカ反応ではない		

3. 室内試験結果と評価

3.1 アルカリ骨材反応の判定

採取したコンクリート試料を用いた試験結果と表 1 の判定基準とから、当えん堤の堤体コンクリートの変状原因については、「アルカリ骨材反応 (アルカリシリカ反応) の疑いが強い」(合計 5 点) と評価される。

3ヶ月の試験期間中の残存膨張量は 0.02% であり、判定基準値よりも小さい。これに関しては、変状の原因がアルカリ骨材反応であるとして、竣工後の経過年数も考え合わせれば、当えん堤でのその反応は収束期以降の状態にあるものと推察される。

3.2 力学試験結果

表 2 に示すように、供試体間での物性値の変動 (バラツキ) は認められるが、今回採取された試料数からは、堤体の表層部と内部において、物性値に有意な差があるとはいえない。

(表 2) 力学試験結果

試料番号	密度 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 × 10 ⁴ (N/mm ²)	ポアソン比
1	2200	13.8	0.617	0.0623
2	2250	11.6	0.425	0.155
3	2210	—	—	—
4	2190	—	—	—
5	2210	10.2	0.502	0.182
6	2250	11.5	0.613	0.0858
7	2220	—	—	—
8	2180	—	—	—
9	2170	13.3	0.696	0.209
10	2200	11.5	0.576	0.305
平均	2208	12.0	0.572	0.167

(試料番号 1 ~ 5 は表層部より、6 ~ 10 は堤体内部より採取。健全な堤体コンクリートでは弾性係数：2.5 ~ 3.0 × 10⁴ N/mm²、ポアソン比：0.2²⁾)

密度は一般値に比べて4%程度低く、圧縮強度については施工当時の設計基準強度に比べて25%程度小さい。また、静弾性係数(変形に対する剛性)は健全な堤体コンクリートの場合の一般値に比べて1/5程度にまで低下している。

4. 砂防えん堤としての力学的安定性の評価

力学試験結果による当えん堤の物性値のもと、当えん堤の現況での安定性について、現行の設計基準に則った砂防えん堤の設計荷重条件により評価した。堤体基礎は、既往調査結果から軟岩Ⅰ(花崗岩)とした。

4.1 剛体としての全体の安定性

堤体コンクリートの密度として、最も軽い測定最小値を用いた場合でも、洪水時に堤底上流端で 0.06kN/m^2 とごくわずかな引張応力が発生する程度である。しかし、過去に実施された堤体ボーリング孔での透水試験の際に、漏水やコンクリートには大きな透水性(10^{-4} cm/s オーダーの透水係数)が確認されている。したがって、堤体表層に多数の亀裂が存在することと考え合わせると、堤底付近に亀裂が存在すれば、それへの浸透水により劣化が促進され、あるいは揚圧力の作用による不安定化が懸念される。

4.2 内部応力解析による堤体安定性の評価

堤体の変状発生の原因と推定されるアルカリ骨材反応に伴う弾性係数の低下の影響による内部応力や歪み変形の安全性を評価するため、FEM 応力解析を実施した。

解析モデルを図1に示す。堤体基礎の物性値は $C_L \sim C_M$ 級の岩盤として、弾性係数 $1.47 \times 10^6\text{kN/m}^2$ 、ポアソン比 $1/3$ とした。また、堤体コンクリートの物性値は、力学試験結果及び一般値を使用した。

堤体コンクリートの物性値として、表2に示す密度、弾性係数、ポアソン比の測定値のバラツキを堤体モデルの各要素に対してランダムに設定して解析した結果を図2に示す。図2では引張応力の発生域を着色して示している。

堤体物性値として試験結果の平均値や一般値を一様にすべての堤体要素に設定した場合と異なり、測定値のバラツキをランダムに設定した場合には、堤体の下流側に引張り応力が発生しているのが特長的である。発生する引張り応力の値は $20 \sim 90\text{kN/m}^2$ である。アルカリ骨材反応に伴う不均一な堤体の劣化の結果、堤体コンクリート内に引張応力が発生するものと推察される。

このような堤体コンクリート内での引張応力の発生は力学的な安定性を損なう。さらに、前記のように、堤体表層に認められる亀裂の存在と、堤体内での大きな透水性が確認されていることを考え合わせると、亀裂への浸透水による劣化の進行と、あるいは揚圧力の作用によるさらなる不安定化の可能性がある。

5. まとめ

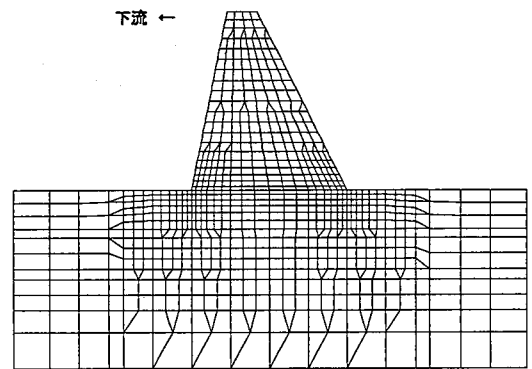
堤体コンクリートからの比較的大きな径のコア採取を行い、その試料に対する物理・化学的試験、力学試験を実施した。その結果に基づき、変状の発生原因としてアルカリ骨材反応の可能性が高いことを定量的に推察した。

また、力学試験により把握された物性値を基に、堤体内部の応力解析を実施することによって、堤体内部において引張応力が発生し、その結果、堤体の安定性を損なう危険性のあることを推察した。

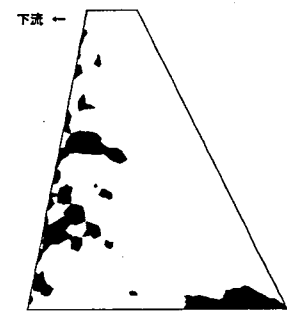
このような変状の見られる施設の安定性について、より精度の高い評価を定量的に行うためには、さらに多くの試料の入手が望ましい。また、劣化コンクリートの物性の経時的変化の把握も望まれる。

(参考文献);

- 1) 建設省総合技術開発プロジェクト、コンクリートの耐久性向上技術の開発(土木構造物に関する研究成果)報告書、平成元年5月、(財)土木研究センター
- 2) 土木学会コンクリート標準示方書/規準編、ダムコンクリート編、2002年



(図1) FEM解析モデル



(図2) 引張り応力発生域