

グラウチングによる岩盤の力学的改良効果に関する実験的研究 —変形特性と強度特性に関する定量的評価とダム基礎設計への展開—

(株)ハザマ 正会員○宇津木慎司, 正会員 永田 光敏

国土交通省中部地方整備局庄内川河川事務所 正会員 宮本 健也

1. 概要

グラウチング工は、地中にボーリング孔を削孔し当該孔からセメントミルクを圧入する工法であり、岩盤内の割れ目などの空隙にセメントを充填することにより、岩盤の力学的特性および遮水性を改良することを目的とするものである。現状の実施工時における改良効果の確認については、ダム基礎で実施されるコンソリデーショングラウチングを例にとると、施工の進捗に伴う力学的な改良効果の評価が困難であるため、透水性状の効果のみより検討が行われている。また、力学的改良効果に関する既往の検討事例が少ないこともあり、ダム基礎などにおいて力学的な改良を目的とした多数の施工実績があるものにも係わらず、グラウチングによる岩盤のせん断強度の上昇などについては現在においてもダム基礎の設計などに考慮されていない。

これに対して、筆者らは、原位置岩盤試験および室内せん断試験を実施し、岩盤の変形特性および強度特性に関する改良効果を定量的に確認した^{1) 2)}。本論文においては、上述した検討結果をもとにグラウチングによる岩盤の力学的な改良効果について総括するとともに、ダム基礎設計において岩盤のせん断強度の上昇を考慮した事例を示すことにより、ダム基礎掘削量の低減そしてそれに伴う堤体コンクリート打設量の低減などを実現するための方策を具体的に検討した。

2. グ라우チングによる岩盤の力学的改良効果を考慮したダム基礎設計の検討

2.1 既往のダム基礎設計の考え方

既往のダム基礎設計に際しては、基礎岩盤のせん断破壊に関する安定計算において必要安全率4.0を確保する必要があるとされており、この計算に用いる基礎岩盤のせん断強度については、ダムサイトごとに調査横坑内で実施される原位置せん断試験結果をもとに設計値が設定されている。実際のAダムにおけるせん断試験結果を示した図-1をみると、岩盤等級区分ごとに3～4点で試験が実施されており、その結果をもとに設計に用いるせん断強度が設定されていることがわかる。

実際の安定計算では、基礎部をダム軸方向に15mで区切ったブロックごとに、ダム基礎岩盤に作用する鉛直力およびせん断力とその箇所に分布する基礎岩盤の物性値をもとに安全率を算出する。これにより、例えば図-2に示す堤高さ100m程度のダムの事例のように、左右岸高標高部については、堤高が40m程度以下であれば基礎に作用する水圧などの力が比較的小さいためC_L級岩盤で安全率4.0を確保できるが、それより河床側の堤高が40m程度以上になる箇所においては作用する力が大きくなるのでC_M級岩盤を基礎とする必要がある、といった結果が得られる。そして、全てのブロックにおいて必要安全率4.0が確保できるような堤体基礎掘削形状が設定される。

2.2 岩盤の力学的改良効果を考慮したダム基礎設計の検討

グラウチングによる岩盤の力学的改良効果については、上述した筆者らの検討により変形特性および強度特性に関する改良効果が定量的に評価され、以下に示す知見が得られている。岩盤等級区分ごとに詳細な検討を実施した変形特性に関する評価を参照すると、いずれの等級においても改良効果は認められるものの、特に強風化岩盤であるC_L級岩盤の上位半分に相当する変形係数350～500(MPa)のC_{L1}級について効果が明瞭で、全ての測定点が弱風化岩盤であるC_M級相当の物性値まで上昇していることが判明した。また原位置岩盤における孔内載荷試験の

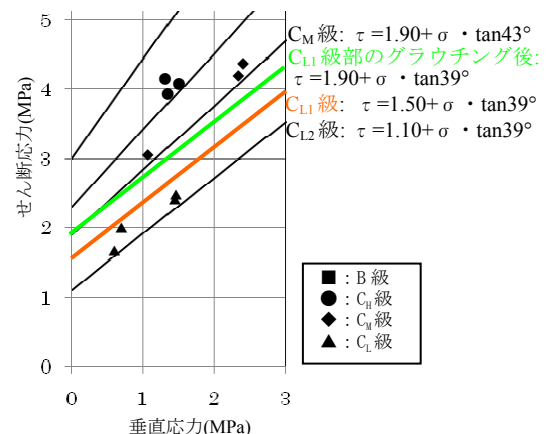


図-1 グ라우チングの改良効果を見込んだ岩盤のせん断強度の設定例

キーワード：グラウチング，ダム基礎，岩盤，力学的特性

連絡先：〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5 TEL：03-3588-5770, FAX：03-3588-5755

降伏応力より求めたせん断強度に関する検討結果によると、 C_L ～ D 級岩盤において粘着力が0.5 MPa程度上昇することが確認できるとともに、割れ目を模した室内せん断試験結果においても0.4～0.6MPa程度の上昇が認められた。

上述した検討結果をもとに、岩盤のせん断強度についても既往の C_L 級を分割することにより2つの設計値を定めるとすれば、図-1に示すように、既往の C_L 級のせん断強度を下位の C_{L2} 級の値とし、上位の C_{L1} 級については粘着力を既往の C_M 級1.90MPaと C_L 級1.10MPaの中間値1.50MPa程度に設定できると考えられる。そしてグラウチングによる改良効果については、上述した検討結果より C_{L1} 級について粘着力のみ0.40MPa程度考慮すると、グラウチングにより C_{L1} 級の粘着力が1.90MPa程度と、既往の C_M 級相当の値まで改良すると評価できる可能性がある。この結果をもとに図-2に示したダム基礎掘削形状の事例を用いて検討すると、図-3に示すように C_M 級以上の着岩が必要とされる堤高40m以深の箇所において、 C_{L1} 級の箇所をグラウチングによる改良効果を考慮することにより C_M 級相当と評価できれば、掘削線を図-2よりも上部に設定できると考えられる。このようにして、仮に C_L ～ C_M 級掘削箇所の掘削線を10m程度上部に設定できれば、高さ100m級、堤体積70万 m^3 程度のダムにおいて、左右岸合計5万 m^3 程度と、約5～10%程度の堤体掘削体積とともに堤体打設量を同時に低減できる可能性がある。さらに上述した事項が可能になれば、それに付随して堤体上部のり面など周辺箇所における掘削体積の低減、骨材製造量削減に伴う原石山掘削体積の低減、そしてこれらの掘削のり面の高さを低くすることによるり面の安定性確保、自然改変の最小化、のり面積削減に伴うのり面保護工施工数量の低減など、ダム建設に関わるQ(品質)・C(経済性)・D(工程)・S(安全性)・E(環境への配慮)、あらゆる側面に寄与できると考えられる。

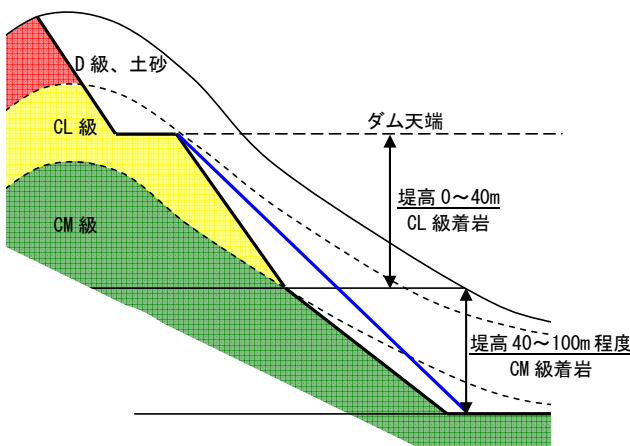


図-2 既往のダム基礎設計事例模式図

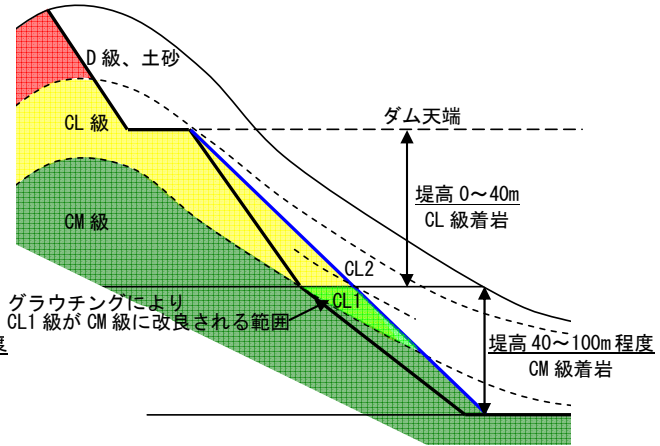


図-3 グ라우チングの改良効果を見込んだ設計事例模式図

3. 結論および今後の課題・展開

本研究においては、グラウチングによる岩盤の力学的な改良効果を定量的に評価することを目的として実施された原位置岩盤試験結果および実内せん断試験結果をもとに、岩盤の物性値の上昇をダム基礎設計に考慮するための検討を行った。その結果、変形特性に関する改良効果が明瞭で全ての測定地点で C_M 級相当に改良された C_{L1} 級についてのみ物性値の上昇を考慮する場合のダム基礎設計について、具体的な内容を示した。このように、グラウチングによる岩盤の力学的改良効果を定量的に評価し設計の考慮することができれば、堤体基礎掘削体積の低減、そしてそれに伴う堤体コンクリート打設体積の低減などを実現できる可能性がある。

上述した検討を実施に展開する際には、施工前の試験施工で検討箇所の地質における改良効果を事前に直接確認するとともに、実施時にその改良効果を確認しながら施工を進捗させる管理システムを構築する必要があると考えられる。これについては、岩盤の工学的特性を簡易に推定する試験機として広く適用されているシュミットハンマーをボーリング孔に適用した、孔内打撃応答試験機³⁾による評価手法を平行して検討している。

参考文献

- 1) 宇津木慎司, 宮本健也, 吉田眞教, 朝倉俊弘, 菊地宏吉: グ라우チングによる岩盤の力学的改良効果に関する実験的研究—節理性岩盤の変形特性に関する現場実験による検討—, ダム工学 Vol. 21 No. 3, 2011.
- 2) 水戸義忠, 若林成樹, 平野勇, 菊地宏吉: グ라우チングによる節理のせん断強度の改良効果に及ぼす節理特性の影響に関する基礎実験, 材料, 別冊第 48 巻, 第 4 号, pp. 357-364, 1999.
- 3) 菊地宏吉, 水戸義忠, 宇津木慎司: 孔内打撃応答試験機の適用性に関する検討, 応用地質, 36 巻 1 号, 1995.