

藤沼ダム建設工事におけるコア材・ランダム材の飽和度管理（その2）  
～管理手法と品質管理結果～

安藤ハザマ 技術研究所      〇永井 裕之、三反畑 勇  
安藤ハザマ 東北支店      山岸 明広  
東京理科大学      龍岡 文夫  
NTCコンサルタンツ      中山 睦人、三浦 亨  
福島県 県中農林事務所      渡邊 浩樹

1. はじめに

2011 年東日本大震災で決壊した藤沼ダムの復旧工事では、旧堤体よりも確実に安定な盛土の実現を目指して、①土質材料の管理、②締固めエネルギーの高いレベルでの一様性と一定性を目指した重機通過回数と撤出し厚さの管理、③従来の締固め度の下限值管理に加えて飽和度による締固め管理を実施している<sup>1),2)</sup>。これらの品質管理の結果、締固め度・飽和度の全測定値が管理基準を満足し、高品質の盛土が実現できた。本論では、副堤のコア材およびランダム材の品質管理手法および施工管理の結果を報告する。

2. 品質管理手法

要求性能を満足する盛土の剛性・強度・透水・コラプス抵抗等の諸物性を実現するには、締固めにおいて、盛土材の土質と含水比 $w$ 、締固めエネルギーレベル $CEL$ 、締固め土の乾燥密度 $\rho_d$ （あるいは所定の $CEL$ に対する締固め度 $D_c$ ）と飽和度 $S_r$ を適切に管理する必要がある。この目的のために、5つの管理境界に基づく管理法が提案されている<sup>1),2)</sup>。コア材の管理境界の設定法を表1に示す。その1で示したように、現場での転圧 $N=8$ の時、 $w=w_{wet}$ では過転圧の傾向にある。この場合を除けば、現場での $N=8$ は室内締固め試験での $CEL=1.0Ec$ の結果に近い。このことから、実盛立て工事での $N=8$ での $\rho_d$ と $w$ の品質管理値を $1.0Ec$ の室内締固め試験の結果(図1a)を基準にして $0.95 \times (\rho_d)_{max}$ と $w_{opt}+0.5\%$ とした。透水係数の要求品質 ( $k \leq 1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ) を満足するために室内透水試験の結果(図1b)に基づいて飽和度下限線 $SL$ を $80\%=(S_r)_{opt}-5\%$ に、過転圧防止と強い強度・剛性の確保のために飽和度上限線 $SU$ を $90\%=(S_r)_{opt}+5\%$ に設定した。また、締固め度下限 $DL$ での  $D_c=95\%$ の供試体の三軸圧縮試験では、設計強度を満足するせん断強度が得られた。ランダム材の管理は表1c)の管理が不要になる。この場合、 $1.0Ec$ の室内締固め試験の結果(図2)を基準に $\rho_d$ の品質管理値は $0.95 \times (\rho_d)_{max}$ とし、過転圧防止のために飽和度上限線 $SU$ は $86\%=(S_r)_{opt}+6\%$ に設定した。 $SL$ には、水浸による強度低下と沈下を抑制する目的がある。飽和度下限線 $SL$ での $S_r$ の値は、コラプス沈下や浸水による強度低下防止を目的に、 $w=w_{dry}$  で $D_c=95\%$ のときの $S_r=68\%=(S_r)_{opt}-15\%$ とした。

3. 現場品質管理試験条件(表2)

定期管理は施工前にストックパイルから採取した試料が対象であり、日常管理は施工後に盛立場から採取した試料が対象である。土質材料のばらつきをできるだけ抑制するために、副堤のコア材では盛立量  $10,000 \text{ m}^3$  に対し、 $3,000 \text{ m}^3$  に1回の定期管理と、1日に1回の日常管理を行った。副堤のランダム材では、盛立量  $31,000 \text{ m}^3$  に対して、 $3,000 \text{ m}^3$  に1回の定期管理と、1日に1回の日常管理を行った。定期管理、日常管理の試験項目および頻度を表2に示す。結果は概ね一致しており、盛土材はほぼ均一であった。

4. 試験結果

(1) 粒度分布(図3、4)：定期管理と日常管理で、ほぼ同じ結果が得られた。なお、全工程で見れば粒度分布は若干変動しているが、以下で説明するように、原位置の  $CEL$  の一様・一定の管理と飽和度の許容範囲による管理によってこの変動に対処できた。

表1 コア材の締固めにおける5つの管理境界

| 管理境界               |            | 土構造物の要求性能の実現に必要な物性管理 |                   |             |          |
|--------------------|------------|----------------------|-------------------|-------------|----------|
|                    |            | a)高い強度・剛性の確保         | b)水浸による強度低下、沈下の抑制 | c)必要な透水性の確保 | d)過転圧の防止 |
| 締固めに用いる盛土材に対する管理境界 | 含水比下限線:WL  | ○                    | ●                 | ○           |          |
|                    | 含水比上限線:WU  | ●                    |                   |             | ●        |
| 締固めた盛土に対する管理境界     | 締固め度下限線:DL | ●                    | ○                 | ○           | ○        |
|                    | 飽和度下限線:SL  |                      | ●                 | ●           |          |
|                    | 飽和度上限線:SU  | ○                    |                   |             | ●        |

●:要求項目の確保に非常に重要な管理境界      ○:要求項目の確保に重要な管理境界

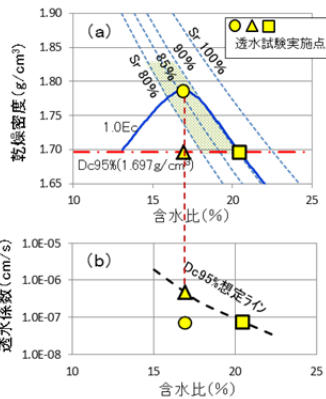


図1 コア材の品質管理基準値

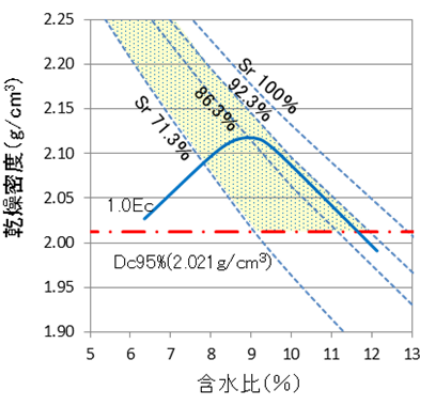


図2 ランダム材の品質管理基準値

表2 試験項目および試験頻度

| 試験項目                                           | 試験頻度*                  |                                             |                     |                                              |                     |                |
|------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------|---------------------|----------------|
|                                                | コア材                    |                                             |                     | ランダム材                                        |                     |                |
|                                                | 基準値                    | 定期管理<br>(施工前)                               | 日常管理<br>(施工後)       | 基準値                                          | 定期管理<br>(施工前)       | 日常管理<br>(施工後)  |
| 粒度試験<br>(JIS A 1204)                           | 最大粒径 $D_{max}(mm)$     | $\leq 150$                                  |                     | $\leq 150$                                   |                     |                |
|                                                | 標準 $P_{4.75}(\%)$      | $\geq 20$                                   |                     | $\geq 45$                                    |                     |                |
|                                                | 細粒分含有率 $F_c(\%)$       | $\geq 25$                                   |                     | $\leq 20$                                    |                     |                |
| 含水比試験<br>(JIS A 1203)                          | 施工含水比 $w(\%)$          | $W_{opt}-1.0\%$<br>$\sim W_{opt}+2.0\%$     | 1回/午前・午後<br>(3試料/回) | $W_{opt}-1.5\%$<br>$\sim W_{opt}+1.0\%$      | 1回/午前・午後<br>(3試料/回) | 1回/週<br>(3孔/回) |
| 締固め試験<br>(JIS A 1240)                          | 許容最大粒径 $mm$            |                                             |                     | 37.5                                         |                     |                |
|                                                | モールド直径 $mm$            |                                             |                     | 200                                          |                     |                |
|                                                | ランマー重量 $kg$            |                                             |                     | 10                                           |                     |                |
|                                                | 締固めエネルギー $E_c$         |                                             |                     | $E_c = JIS \times 100\%$                     |                     |                |
|                                                | 締固め回数 $N(回/層)$         |                                             |                     | 20回/層×3層                                     |                     |                |
| 現場密度試験<br>(突砂法, $\phi$<br>200mm)<br>(JGS 1611) | 締固め度 $(D_c)_{IEc}(\%)$ | $\geq 95$                                   | 1回/日<br>(3孔/回)      | $\geq 95$                                    |                     | 1回/週<br>(3孔/回) |
|                                                | 飽和度 $S_r(\%)$          | $(S_r)_{opt}-5\%$<br>$\sim (S_r)_{opt}+5\%$ |                     | $(S_r)_{opt}-15\%$<br>$\sim (S_r)_{opt}+6\%$ |                     |                |

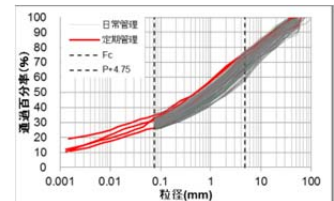
※副堤の盛土量は、コア材:10,000m<sup>3</sup>、ランダム材:31,000m<sup>3</sup>

図3 コア材の粒度試験結果

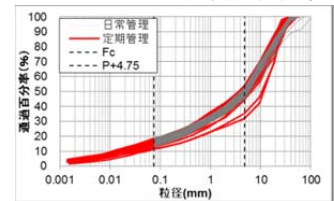
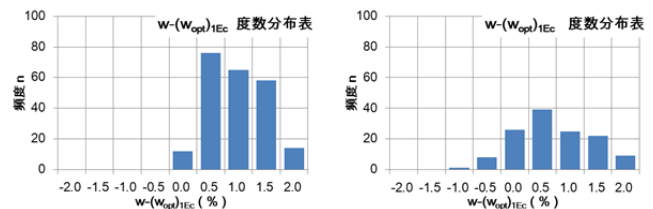
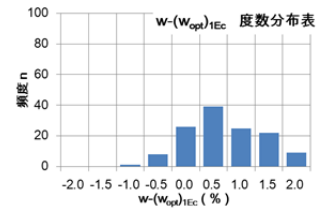


図4 ランダム材の粒度試験結果

(2) 含水比: コア材は飽和状態での透水係数の最小化を目指し、含水比  $w$  の管理目標値は「1Ecの締固め試験で得られた最適含水比  $(w_{opt})_{IEc}$ 」+0.5%としたが、現場では  $w$  が不可避免に変動することに備えて管理範囲を  $(w_{opt})_{IEc}-1\% \sim (w_{opt})_{IEc}+2\%$  とした。ランダム材の管理目標値は、現場転圧試験結果を基に  $(w_{opt})_{IEc}$  とし管理範囲を  $(w_{opt})_{IEc}-1.5\% \sim (w_{opt})_{IEc}+1\%$  とした。図5、6に定期管理と日常管理で得られた  $w$  の実測値と  $(w_{opt})_{IEc}$  との差の度数分布を示す。いずれの場合でも全測定値は管理基準を満足している。

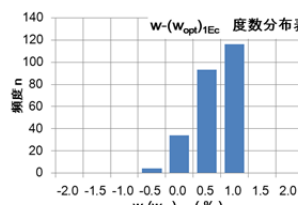


(a) 日常管理

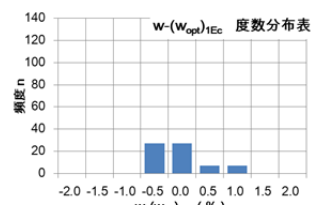


(b) 定期管理

図5 コア材の含水比試験の度数分布



(a) 日常管理



(b) 定期管理

図6 ランダム材の含水比試験の度数分布

(3) 現場締固め: 図7、8に「定期管理での試験と日常管理での現場試験」で得られた実測値の一例を示す。図に示す黄色で塗りつぶした領域は、表1に示した乾燥密度と飽和度  $S_r$  の管理範囲である。これらの図より、 $(D_c)_{IEc}$  および  $S_r$  の全測定値が管理値を満足していることが確認できる。特に、 $w$  が最適含水比よりも乾燥側の場合でも、 $S_r = (S_r)_{opt}$  状態の実現を目指す上記の飽和度管理によって、1Ecでの最大乾燥密度に近い乾燥密度が実現できている。

## 5. まとめ

藤沼ダム副堤と本堤の復旧工事では、従来の①盛土材の含水比管理と②密度による締固め度管理に加え、③飽和度  $S_r$  管理を実施した。全測定において、1Ecに対する締固め度  $(D_c)_{IEc} \geq 95\%$  の管理基準と最適飽和度  $(S_r)_{opt}$  を中心とした管理範囲を満足した。土質のばらつきによって締固め状態が1Ecでの締固め曲線に対してばらついていると推定できる。一方、「現場のそれぞれの場所での  $p_d$ 」の「その土質材料を用いて1Ecで行った締固め試験で得られた最大乾燥密度」に対する比である真の締固め度  $(D_c)_{IEc}$  は、土質の変化に作用されずに  $S_r - (S_r)_{opt}$  だけの関数とみなせる。したがって、現場締固めエネルギーを高いレベルで一様・一定に管理した上で  $S_r = (S_r)_{opt}$  を目指した管理を行ったことで、 $(D_c)_{IEc}$  は図7、8にプロットされている見かけの締固め度のばらつきよりも小さく管理値95%を超えて100%近い高い値に維持できた、と判断された。

なお、(社)地域環境資源センター田中忠次氏、茨城大学毛利栄征氏から貴重な助言を頂きました。記して感謝の意を表します。

【参考文献】 1) 龍岡文夫: 盛土締固めにおける各種重要な管理項目, 第51回地盤工学研究発表会, 2016

2) 龍岡文夫, 藤代健司, 須藤雅人, 建山和由, 根本忠: 乾燥密度と飽和度の関数として締固めた土の物性, 第48回地盤工学研究発表会, pp.575-578, 2013