堤体の新たな枠組みでの締固め管理
Compaction Control of Embankments in a New Framework

○龍岡　文夫*，田中　忠次**，毛利　栄征***，三浦　亨****
TATSUOKA Fumio, TANAKA Tadatsugu, MOHRI Yoshiyuki and MIURA Toru

１．はじめに　藤沼ダムの本堤・副堤は、2011 年東北地方太平洋地震での地震動でも高い耐震性を発揮できるように、適切な近代的構造と新たな枠組みでの締固め管理などによって強化復旧した。従来の締固め管理では、現場代表試料を用いて標準プロクター(1Ec)などの締固めエネルギーレベル(CEL)で行った室内締固め試験による最大乾燥密度$(\rho_d)_{max}$ と最適含水比 w_{opt} を基準にして現場乾燥密度 ρ_d と含水比 w を管理する。しかし、現場での粒度分布などの土質と CEL は不可避的に変化し、また室内締固め試験での土質と CEL と整合しない場合が多い。このため、現場での$(\rho_d)_{max}$ と w_{opt} は不確定となり、締固め効果的ではなくなる。また、上記に対応するなどして、必要な強度・剛性と透水係数 k を確実に保証する締固め管理法となっていない。

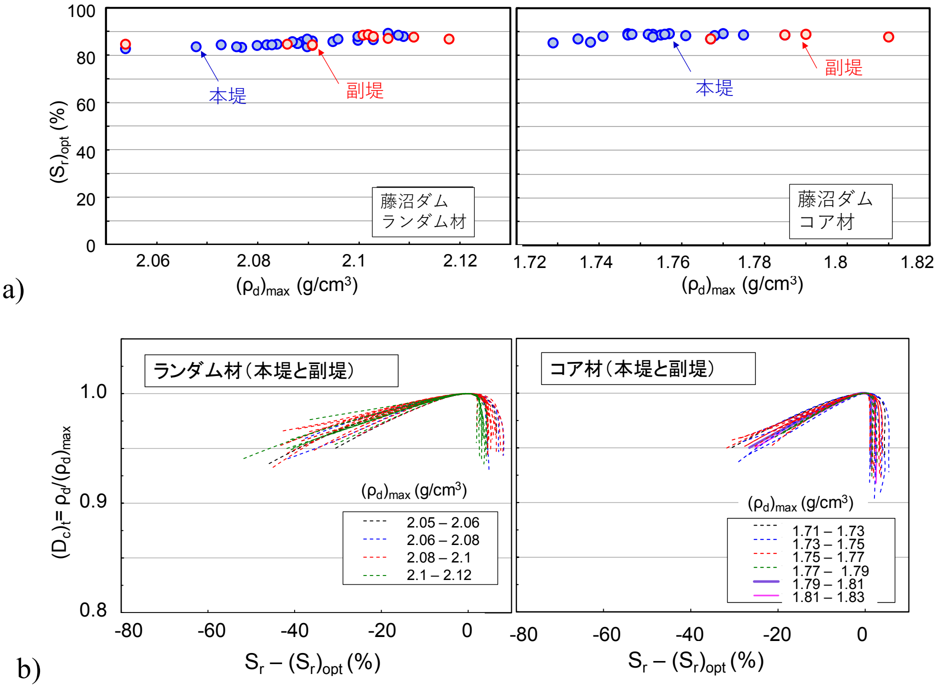

Fig. 1　盛土材の締固め特性(1Ec): a) $(S_r)_{opt}$～$(\rho_d)_{max}$ 関係; b)正規化締固め曲線
Compaction characteristics (1Ec) of the fill materials: a) $(S_r)_{opt}$; b) normalized compaction curves

*東京大学・東京理科大学名誉教授 Professor Emeritus, University of Tokyo and Tokyo University of Science
** (一社) 地域環境資源センター　The Japan Association of Rural Resource Recycling Solutions
***茨城大学農学部　College of Agriculture, Ibaraki University
****NTC コンサルタンツ NTC consultants
キーワード：締固め度、締固め管理、飽和度管理

2. 新たな枠組みと結果　Fig. 1 は、本復旧工事での締固め管理で得られたデータである。それぞれの締固め曲線において$(\rho_d)_{max}$が得られる飽和度 S_r である最適飽和度$(S_r)_{opt}$とそれに基づく正規化締固め曲線は、現場で土質と CEL が変化して$(\rho_d)_{max}$が変化してもほぼ一定である。したがって、現場で土質と CEL が不確定的に変化しても、S_r を測定し管理することによって$(S_r)_{opt}$状態を目指せば、真の締固め度$[D_c]_t = \rho_d/[$夫々の締固め曲線での$(\rho_d)_{max}] = 100$ (%)を目指せる。また現場 CEL を必要で十分な値に維持して現場締固め条件での最大乾燥密度$(\rho_d)_{max}$を十分に大きく保てば、現場乾燥密度 $\rho_d = [D_c]_t \cdot (\rho_d)_{max}$ は大きな値に保たれ、その結果管理指標である締固め度（この場合は$[D_c]_{1Ec} = \rho_d / [(\rho_d)_{max}]_{1Ec}$）を十分大きな値に保つことができる。

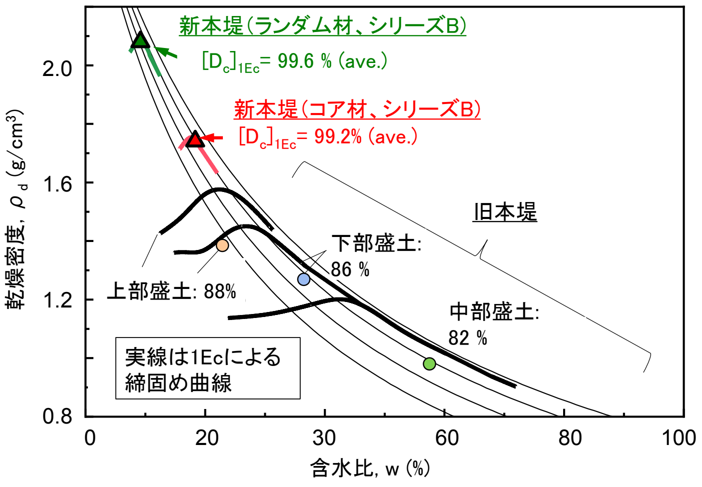

Fig. 2　崩壊した旧本堤の締固め状態（実測）と強化復旧した本堤の締固め状態（平均）の比較
Comparison of compacted states of the old collapsed main dam and the reconstructed main dam.

また、従来のフィルダムコア部のような遮水性盛土の締固めでは、現場 w を CEL=1Ec での室内締固め試験で求めた最適含水比$(w_{opt})_{1Ec}$を許容下限値として管理する場合が多い。しかし、現場での土質と CEL の変化によって現場での$(w_{opt})_{1Ec}$が変化する問題に加えて、$(w_{opt})_{1Ec}$よりもかなり高い w で施工されることになり、過転圧を避けるため十分高い CEL で高い ρ_d を実現する施工が回避される傾向となる。一方、締固め土の強度・剛性と透水性 k は乾燥密度 ρ_d が増加すれば強く硬くなり k は減少するが、S_r と$(S_r)_{opt}$の差にも支配される。したがって、$S_r = (S_r)_{opt}$状態を締固め目標とした上で十分大きな CEL によって高い値の $\rho_d = (\rho_d)_{max}$ を実現すれば、土質と CEL のバラツキに関わらず、安定的に盛土は強く硬くなり低い k を維持できる。

本復旧工事では、適切な盛土材を選定した上で、$S_r = (S_r)_{opt}$ と $\rho_d = [(\rho_d)_{max}]_{1Ec}$ の状態を締固め目標と設定した上で現場 CEL=1Ec を維持することによって、締固め度$[D_c]_{1Ec} = \rho_d/[(\rho_d)_{max}]_{1Ec} = 100$ %の実現を目指した。その結果 Fig. 2 に示すように、通常の施工コストで、崩壊した旧本堤よりも遥かに高い締固め度$[D_c]_{1Ec}$を実現し、乾燥密度 ρ_d 自体も遥かに高い値を実現した。

3. まとめ　飽和度管理を重視した新しい締固め管理法を開発し、経済性を失うことなく、旧本堤よりも遥かに良い締固め状態を実現し、非常に高い耐震性を保証することができた。

引用 1）：龍岡文夫(2016)，土の締固めにおける飽和度管理の重要性、ダム技術, No.354、pp.3-16.