

III-339

石炭灰の締固め特性に及ぼす試料調製方法の影響

清水建設株式会社技術研究所

正会員

堀内澄夫

高橋和敏

菅野勇

1. はじめに 新鮮な石炭灰（フライアッシュ）を突固める場合、試料の調製方法によって最適含水比、最大乾燥密度が変化することを前回報告した¹⁾。すなわち、石炭灰と水とをホバート型ミキサーで混合した場合、混合時間の延長とともに最適含水比は低下し、最大乾燥密度は増大する。混合～突固め中に試料の含水比が低下することから、石炭灰と水との混練中に石炭灰粒子または凝集体が破壊し、破壊後の石炭灰と水とが化学反応するため密度も増大するものと考えられた。しかし、試験中の含水比の低下については水分蒸発の影響が不明瞭であったほか、ミキサーを使用しない場合との比較もなされていなかった。

今回3種の石炭灰を使用して前回とほぼ同様の締固め試験を実施した。その結果、前報と同様の傾向が確認されたほか、①試験中の水の蒸発はほとんど一定である。②試料調製にミキサーを1分間使用することにより最大乾燥密度は 0.03g/cm^3 程度高くなる。などのことが判明した。

表-1 石炭灰の性状

石炭灰の種類	化学成分 (%)				pH	D ₅₀ (μm)	比重
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃			
T種	49.1	27.9	3.18	5.59	11.9	11	2.23
U種	58.8	19.7	6.01	5.56	12.4	14	2.32
W種	64.6	24.8	1.62	3.25	12.1	12	2.26

2. 実験方法 石炭灰は火力発電所から排出されたものをそのまま使用した。表-1は使用した3種の石炭灰の性状である。いずれも一般的な石炭灰であると言える。添加水は水道水を使用した。図-1に実験のフローを示す。石炭灰と水との混練は、手によって静かに混合する『手混ぜ』、およびホバート型ミキサー（容量 4.7ℓ、回転数140rpm、遊星回転数 60rpm）によって機械的に混合する『機械混ぜ』、の2種を採用した。締固め試験は非繰り返し法であり、1回の試験に用いる石炭灰重量は 1.5 Kgで一定とした。

3. 実験結果と考察 図-2～4に突固めエネルギー（Ec）を変えた場合の締固め曲線を示す。混合条件は機械混ぜ5分である。通常の土と同様に突固めエネルギーの増加にともなって最大乾燥密度は増加し、最適含水比は低下してゆく。特徴的であるのは最適含水比が極めて鋭いピーク上にあることである。特に最適含水比の低含水比側で締固め曲線がオーバーハングしている場合が非常に多い。T種石炭灰に関し、機械混合開始時の含水比（配合含水比）と突固め試料の湿潤密度から乾燥密度を求め、締固め曲線を描いたのが図-5である。配合含水比で整理すればオーバーハングのない一般的な締固め曲線が得られることがわかる。同様の締固め曲線の変化は他の2種の石炭灰でも確認されている。このような差異が生じた原因は、最適含水比より数%高い含水比域で、突固め後の試料の含水比が配合含水比より数%低下しているためである。

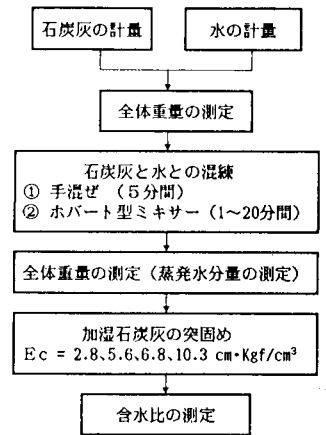
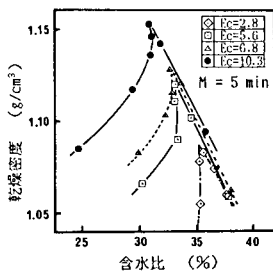
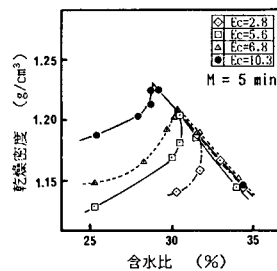
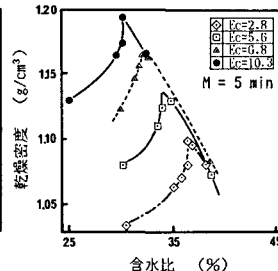
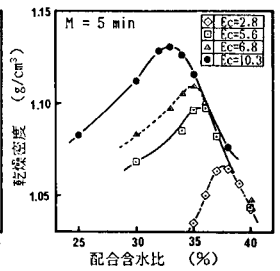


図-1 実験のフロー

図-2 締固め密度へのEcの影響
(石炭灰: T種)図-3 締固め密度へのEcの影響
(石炭灰: U種)図-4 締固め密度へのEcの影響
(石炭灰: W種)図-5 締固め密度へのEcの影響
(石炭灰: T種、配合含水比)

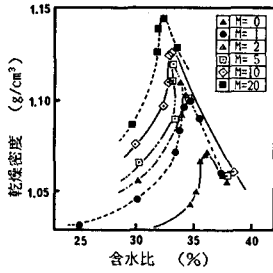


図-6 締固め密度へのMの影響
(石灰灰：T種)
 $E_c = 5.6 \text{ cm} \cdot \text{Kgf/cm}^2$

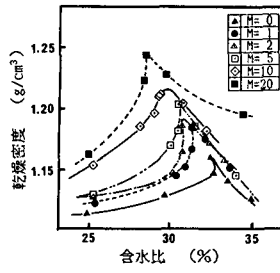


図-7 締固め密度へのMの影響
(石灰灰：U種)
 $E_c = 5.6 \text{ cm} \cdot \text{Kgf/cm}^2$

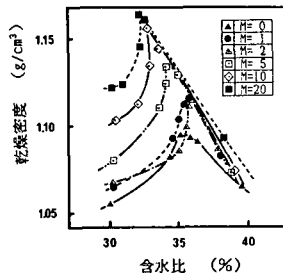


図-8 締固め密度へのMの影響
(石灰灰：W種)
 $E_c = 5.6 \text{ cm} \cdot \text{Kgf/cm}^2$

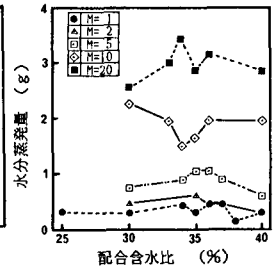


図-9 試料調製中の水分蒸発
(石灰灰：T種、1.5Kg)

図-6～8は締固め曲線への機械混合時間（M）の影響を示している。機械混合時間の増加にともなって最大乾燥密度が増加しているほか最適含水比が鋭いピーク上に存在するなど、突固めエネルギーを変化させた場合と同様の傾向が確認できる。このことから、機械混合時間の増加が突固めエネルギーの増加と同様の効果を持っていると考えることができる。

図-9は試料調製中の水分蒸発量を示している。機械混合の時間増加にともなって水分蒸発量も必然的に増加しているが、同一の混合時間ではバラつきがあるものの水分蒸発量はほぼ一定となっている。試料調製時の水分蒸発量に対する配合含水比の影響はないことから、締固め試験中の試料含水比低下の原因は石灰灰と水との化学反応に起因していることになる。このことは、最適含水比から数%高い含水比域において石灰灰と水とが活発に反応していることを示唆している。以上の結果を総合すれば、上記含水比域での混練や突固めによって石灰灰の微視構造が破壊され、新しく現れた石灰灰表面と水とが化学反応を起こし含水比を低下させたものと解釈できる。

図-10は最大乾燥密度と突固めエネルギーとの関係をまとめたものである。突固めエネルギーの増加にともなって最大乾燥密度も増加しているが、W種の密度増加率が他の石灰灰より若干高くなっている。これはW種石灰灰粒子自体の強度が低く、突固めによる粒子破碎の頻度が高いためであると考えられる。

図-11は最大乾燥密度と混合時間の関係をまとめたものである。混合時間の増加にともなう最大乾燥密度の増加傾向は3種の石灰灰でほとんど差がない。図中の混合時間0分は手混ぜでの値である。機械混ぜ1分での値に比較して 0.03 g/cm^3 程度低下しており、機械混ぜによる石灰灰粒子の破碎が短時間で生ずることがわかる。

前報¹⁾では突固めエネルギーや混合時間を増加させても、ほとんど最大乾燥密度が増加しなかった例があった。最大乾燥密度の増加しなかったのは、試料調製時の機械混合によって突固め時に破碎する粒子がほとんど破碎してしまったことなどが原因として考えられる。今回の石灰灰でそのような傾向は見られないのは、石灰灰粒子の破碎が広いエネルギー範囲で生じたためと考える。

4. おわりに 石灰灰の締固め特性は、盛土材や道路材として有効利用する場合はもとより、石灰灰を埋立て処分する場合にも処分施設設計上不可欠の情報である。筆者らは締固め試験での誤差を小さくする目的で『機械混ぜ』を採用してきた。結果としては他の要因が関与し、得られる締固め曲線は通常の『手混ぜ』とは異なっていたことになる。本検討結果のように、試験条件によって石灰灰の締固め特性が大きく変化することから、施工時の状況を考慮したうえで締固め試験方法を決定する必要があると考える。

なお、前報¹⁾における突固めエネルギーの単位 $\text{m} \cdot \text{Kgf/m}^3$ は $\text{cm} \cdot \text{Kgf/cm}^3$ の誤りです。ここに訂正します。

【参考文献】 1) 堀内ほか：『石灰灰の締固め特性』第41回土木学会，(523-524) 1986

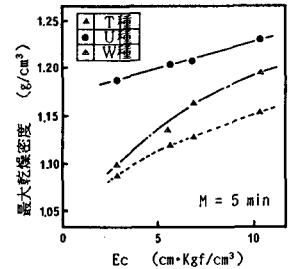


図-10 最大乾燥密度への E_c の影響

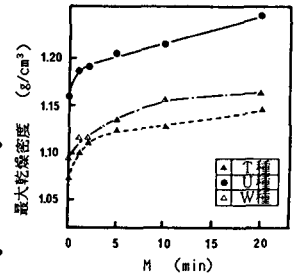


図-11 最大乾燥密度へのMの影響
 $E_c = 5.6 \text{ cm} \cdot \text{Kgf/cm}^2$