

B-61

固化処理土を活用した建築材料の研究
関東ロームを用いた Rammed Earth に関する基礎的研究
Research in Building material using the Soil Solidification.
Study on Rammed Earth made of Kanto loam.

○小林博一¹, 安達洋², 中西三和²Hirokazu Kobayashi¹, Hiromi Adachi², Nakanishi Mitsukazu²

In recent years, the integration of environmental protection and construction has become a topic for discussion. There is much research being conducted on buildings and activities that have little environmental impact. Among them is rammed earth, a type of DIY construction that uses mainly natural materials. The purpose of this research is to examine the material properties of rammed earth consisting primarily of to loam from Kisaradu, Chiba Prefecture, and consider the practicality of this building method. Through soil testing, the properties of Kanto loam are clarified, and a mixture of rammed earth is examined.

1. 研究背景

近年, 地球環境の保全と建築の融合をテーマとした, 建築物の周りの環境に負荷をかけない建築や営みに関する研究がされている. この分野で注目されている建築の中に, 自然素材による建築, 地域資源を使用した建築やセルフビルド型の建築等, 材料の入手や建設の方法に関しても配慮された自然建築がある.

Rammed Earth^[1]は自然建築の中でも土を主原料とする土建築の一種で, 土や固化材等の混合物を型枠内で突き固めた材料である. Rammed Earth は古来より地盤改良や塀, 壁として日本で使用されてきた技術で, 世界的には乾燥した地震の少ない地域で使用される建設技術である. 生産効率の低さから, 先進技術を保有する国では一度廃れたが, 高い断熱性や蓄熱性があり主原料が広い地域で採取できる土であることから, 室内温度調整や輸送にかかるエネルギーが少なく, 環境に対する負荷が少ない自然建築として再認識されている. 現在, 複数の先進国で研究や実用化が進められている.

国内で行われた研究^[2]によれば, Rammed Earth (Photo1) は室内環境を調整する機能を持つことがわかった. 更に, 調合する素材や施工方法により土として再利用可能な建材や建設時の使用エネルギーが少ない建築物となる可能性がある. 一方, Rammed Earth 建築物の構造に関する研究は不十分であり, 自然素材を多用した Rammed Earth 造壁の力学的性能や耐震性能を明らかにし, 構造の安全性に関して検討する必要がある. また, Rammed Earth の原料が土であるため, 入手が容易で広域で産出される土を使用した材料の研究を実施し, 蓄積される材料の調合や性質に関するデータから国内での需要について検討する必要がある.



Photo1 Rammed Earth Wall(R) and Atom house(L)^[3]

2. 研究目的

本研究は, 千葉県木更津産の関東ロームを主材料とした Rammed Earth の材料特性を明らかにし, その実用性を考察することが目的である. 本報では, 試料土を関東ローム, 同地層から採取した砂とし, 各種土質試験結果から, 関東ロームと砂を使用した Rammed Earth の調合を検討する.

3. 調合方法

Rammed Earth の主材料は関東ロームとし, 関東ロームのみを締め固め作成した Rammed Earth の弱点を, 各試験結果を参考に含水率や粒度分布の変更によって補う. 調合に使用する水は水道水を, 粒度分布の変更で使用される砂は表乾状態とする.

4. 試料土の室内試験

土は鉱物, 有機物等の粒子の集合体であり, 地域により混合物や粒度分布等が異なるため性質も異なる. Rammed Earth の調合を検討するため室内試験^[3]を行い, 試料土の性質を明らかにした.

試料土の物理的性質を求めることを目的として, 「JIS A 1203 土の含水比試験」, 「JIS A 1202 度粒子の密

1 : 日大理工・院・海建, Graduate Student, Nihon Univ. 2 : 日大理工・教員・海建, Prof, Nihon Univ. Dr Eng.

度試験),「JIS A 1225 土の液性限界・塑性限界試験」を, 締固め特性を把握することを目的として「JIS A 1210 突固めによる土の締固め試験」を行った. 試料土の基礎的な性質調査として地盤から採取した乱さない土試料を用いて「JIS A 1216 土の一軸圧縮試験」も行った.

5. 試料土の室内試験結果及び考察

Figure1 に粒径加積曲線と粒径の名称, Figure2 に締固め曲線, Table1 に試料土の物理的性質の試験結果, 表 2 に含水率試験結果を示す.

試験結果を考察し, Rammed Earth の調査を計画する.

【強度と耐久性】 Figure1, Table1 より, 関東ロームは粘土が 30%の火山灰質粘性土 (I 型), 砂は 82%が砂分の細粒分礫まじり砂である. 試験結果より, 関東ロームは粘土分が多いため固化後は収縮率が高く収縮ひび割れが起りやすい傾向がある. 一方, 砂は粗粒分の割合が多く関東ロームより圧縮強度が高くなるが, 粘土分が少ないため脆くなる傾向がある. 今後の調査では, 関東ロームと砂を適度に混合することにより, 関東ローム単体より乾燥収縮率が低く強度の高い人口配合土に改良する.

【含水比】 Figure2 の締固め曲線は, 横軸は土試料締固め後の含水率を, 縦軸は乾燥密度を示している. 土の含水比とは, 土粒子の質量に対する間隙に含まれる水の質量の割合を百分率で表したものであり, 乾燥密度が最大値となる含水比を最適含水比という. 施工時の含水比と固化した土の圧縮強度には関係があり, 文献では最適含水比より若干高い含水比で圧縮強度が最大となるという結果も報告されている. 最適含水比は恒温炉乾燥法で 26.15%となったが, 試し練りを行い, 施工性を考慮し 26~28%の間で検討する.

【家庭用レンジを使用した土の乾燥法】【含水比】より, Rammed Earth の品質確保のためには正確な土の含水比を把握する必要がある. 室内試験では, 水分の蒸発のみを行う恒温乾燥炉を使用した, 機械が高価で乾燥時間が長いことから自主建設には適さないため, 広く普及している家庭用レンジ (以下レンジ) を使用し手軽に測定できるか検証した. 実験では, 炉乾燥は 24 時間, レンジ乾燥は 20 分とした. また, レンジ乾燥は乾燥質量を計測後 5 分加熱し質量が一定であることを確認した. Table2 より, 試料土を 2 種類の方法で乾燥させた結果, 電子レンジ法の含水率は若干大きい値になり, 含水率の上昇と共に誤差が大きくなった.

今後もデータを収集し, レンジを使用し短時間で高精度の含水比の測定方法を検討する.

6. 今後の研究

本報は, Rammed Earth の主材料である関東ロームの性質と調合で考慮すべき点について検討した. 今後は, これらを活用し Rammed Earth の調査を行い, 材料試験を行う. 主な検討項目は以下の 3 つである.

- ① 含水比の簡易的な測定方法の検討
- ② 関東ロームと砂の配合比の検討
- ③ 固化材添加率と強度の関係

Table1 Physical properties test results

試料名称		関東ローム	砂
含水比		33.363	13.821
密度	密度 ρ_s [g/cm ³]	2.634	2.739
	湿潤密度 ρ_t [g/cm ³]	1.727	-
	乾燥密度 ρ_d [g/cm ³]	1.295	-
	間隙比 e	1.036	-
流動性	液性限界 ω_L [%]	56.858	-
	塑性限界 ω_P [%]	34.260	-
	塑性指数 I_p [%]	22.599	-
強度	一軸圧縮応力 [kN/m ²]	78.715	-
	ひずみ [%]	6.295	-

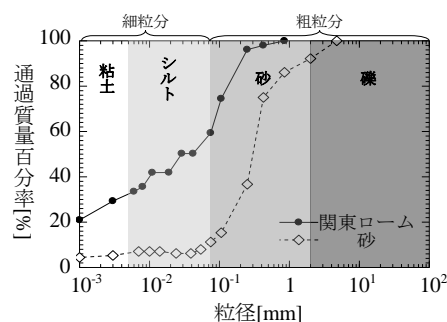


Figure1 Soil grain size distribution of loams

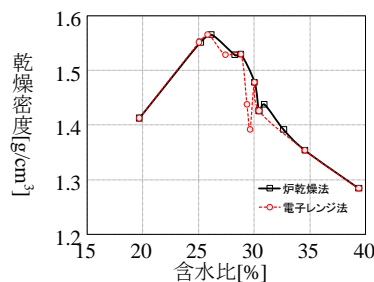


Figure2 Compaction curve

Table2 Moisture content test results

試料番号	恒温室 [%]	レンジ [%]	誤差 [%]
1	32.650	29.638	3.012
2	30.905	29.371	1.534
3	28.242	27.415	0.827
4	26.148	25.832	0.316
5	25.187	25.034	0.153

<参考文献>

- [1] BUILDING WITH EARTH : Gernot Minke, 2006.06
- [2] 土と藁のアトムハウスプロジェクト : 平成 14 年度卒業論文梗概集 第 17 号, 糸長浩司 他
- [3] 土質試験基本と手引き (第二回改訂版) : 社団法人地盤工学会, 2010 年 3 月

【謝辞】本研究に当たり以下の方々にご多大なご協力に感謝致します.
日本大学理工学部建築学科 安達俊夫先生, 山田雅一先生, 日本大学理工学部物質応用化学科 三五弘之先生, 日本大学生物資源科学部生物環境工学科 糸長浩司先生, カイル・ホルツヒュータさん



Photo2 specimen of Moisture content test



Photo3 Dryer
Drying oven
and Microwave