

転圧締固めを受けた火山灰質土の強度特性に関する研究

On the Strength Characteristics of Volcanic-Loam due to Roller Compaction

奥村 哲夫・成田 国朝・大根 義男
Tetsuo OKUMURA, Kunitomo NARITA and Yoshio OHNE

ABSTRACT : Among various subjects on the shear strength characteristics of Volcanic-Loam, which has recently been used as a fill material, strength reduction due to roller compaction (softening) and thixotropic strength regain (hardening) after compaction are great concerns in the design and construction of earthfill dams. Field compaction tests were carried out in the present study in order to investigate these strength characteristics of compacted Kanto-Loam by use of a model tamping roller. Stress transmission properties of compaction load in the fill was also examined through earth pressure observations.

1. はじめに

ローム系の火山灰質土は、非常に緩く堆積しているにも係わらず一定の骨格構造強度を有するため、自然地盤や地山では常に安定した状態を保っている。しかし、転圧などの作業によってこね返しが行われると、骨格構造が破壊され土の強度は著しく低下する。これはシキソトロピーによる軟化現象(ゾル化)によるものと言われている^{1,2)}。そして、火山灰質土の軟化は、ローラー転圧や重機械の運行に伴う繰返し外力の作用(主に外力の大きさと繰返し回数)、堆積時の骨格構造強度、初期含水比および試料採取やまき出し時における骨格構造破壊等によって軟化の度合が異なることも知られている。

一方、この種の土は、軟化した後に静置状態を保つと強度の回復現象(ゲル化)が生じ、その速さや回復の程度は軟化の度合によって異なるとも言われている。

本研究は、火山灰質土の強度低下・回復特性を把握するために、試作したタンピングローラーを用いて盛土試験を行い、主として、1)転圧荷重の盛土内部への応力伝播特性の把握(以後、応力伝播試験と呼ぶ) 2)繰返し外力による火山灰質盛土の強度低下特性の把握(軟化試験)および、3)軟化後の強度回復特性の把握(強度回復試験)の3項目に着目して行った実験結果について報告するものである。なお、本研究は文部省科学研究費補助金(課題番号04555121)の援助を受けた研究であることを付記し、ここに謝意を表する。

2. 試料および実験方法

2.1 応力伝播試験

実験に用いた試料は源内山調整池(新潟県)から採取したローム系の火山灰質土(火山灰質粘性土II型)と市販のマサ土である。両試料の物理特性を表-1に示す。

表-1 試料の物理的性質

試料	粒 度				比重 Gs	液性・塑性限界			自然含水比 w _r (%)	締 固 め	
	粘土分 (%)	シルト分 (%)	砂分 (%)	粒径分 (%)		W _L (%)	W _P (%)	IP		ρ_{dmax} (g/cm ³)	W _{opt} (%)
ローム	22.6	32.5	45.0	-	2.65	128	73.5	54.8	85.5	0.887	59.4
マサ土	-	3.0	41.0	56.0	2.67	-	-	-	9.1	-	-

盛土の転圧には図-1および写真-1に示すような小型の自走式タンピングローラーを用いた。ローラーの自重は888kgf（モーター側：767kgf、ハンドル側：121kgf）、自走速度0.5km/hである。

盛土形状は、ローム土の場合幅×長さ：120×320cm（図-2 a）、マサ土では190×135cm（同図 b）とした。図中の●印は土圧計（受圧面直径 30mm、容量2.0kgf/cm²）、○印は間隙水圧計の設置位置を示している。土圧および間隙水圧の測定は、ローム盛土の場合、盛土層数3層以降の偶数回の転圧時においてローラーが図-2 (a)のA～G点を通る時に行い、またマサ土の場合は、第1回目の転圧時に、土圧計直上でローラー静止の状態のもとで行った。表-2は盛土の転圧条件である。

なお、ローム盛土においては、後に示す強度低下試験とは別に本盛土からも強度低下特性を調べる目的で、ポータブルコーンペネトロメータを用いて転圧回数N=2, 4, 8, 16, 32 および64回毎にコーン貫入抵抗値（qc）を測定した。

表-2 転圧条件（応力伝播試験）

試料	撒き出し厚 (cm)	転圧回数 (N, 回)	盛土層数 (層)	基盤厚さ (cm)	盛土含水比 (%)
ローム	2.0	6.4	5	1.2	89.4
マサ土	2.0	2	4	4	9.1

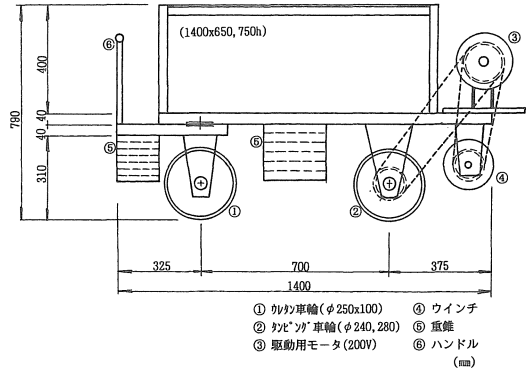


図-1 小型ローラー（正面図）

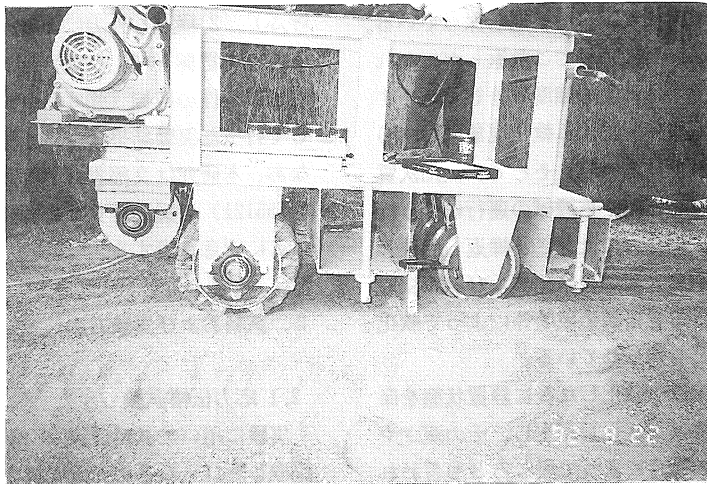


写真-1 ローラーの全景

2.2 軟化試験

用いた試料は応力伝播試験と同一のローム土である。

盛土形状は、幅x長さ:120x300cmである(図-3)。

軟化の度合は転圧回数Nを2, 4, 8, 16, 32 および64回変化させることによって行い、計6種類の盛土を作成して調べた(表-3参照)。また、盛土の強度は、貫入試験(ポータブルコーン)および盛土から採取した不攪乱試料(直径65mm, 高さ250mm)による一軸圧縮試験によって調べた。写真-2は盛土の転圧状況である。

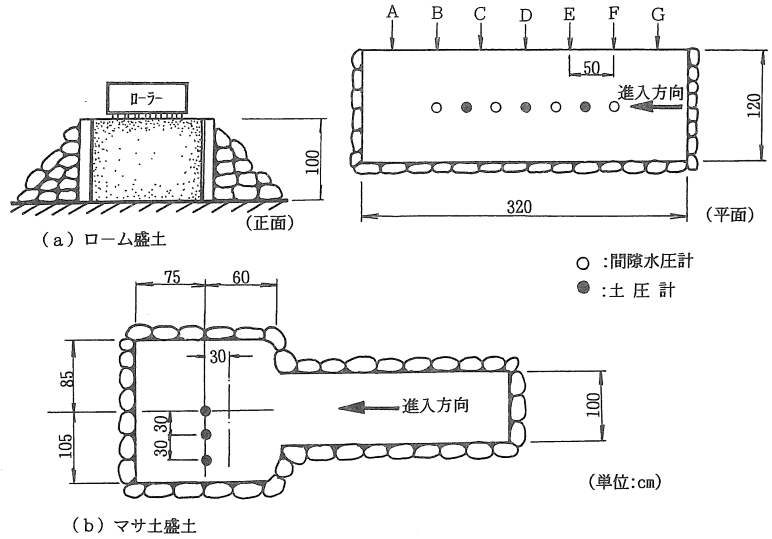


図-2 盛土形状及び観測計器の埋設位置(応力伝播試験)

2.3 強度回復試験

強度の回復特性は、現場保存した盛土に対するコーン貫入試験(ポータブルコーン)、盛土から鉛ピ管(直径15cm, 高さ20cm)を用いて採取した不攪乱試料に対するコーン貫入試験(ミニコーン, コーン底面積:1.52cm², 1/4in²)および、一軸圧縮試験(不攪乱試料, 直径65mm, 高さ250mm)によって調べた。表-4は実施した各試験の養生日数を示している。

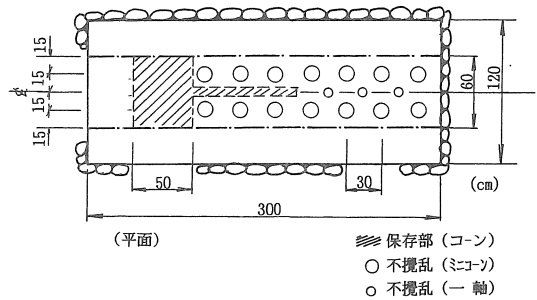


図-3 盛土形状及び試料採取位置(軟化試験)

表-3 転圧条件(軟化試験)

転圧回数(N,回)	撒き出し厚(cm)	盛土層数(層)	基盤厚さ(cm)	盛土含水比(%)
2	2.0	3	1.5	98.5
4	2.0	3	9	88.2
8	2.0	3	4	89.5
16	2.0	3	4	86.2
32	2.0	3	8	86.5
64	2.0	3	8	99.2
32	1.0	3	5	90.6

表-4 強度回復試験養生日数

試料	養生日数 T(日)
保存盛土 ($\gamma > \gamma_{qc}, 1/2in^2$)	0 1 3 7 15 22 29 36 43 50 57 60
不攪乱土 ($\gamma > \gamma_{qc}, 1/4in^2$)	1 3 7 15 30 60
不攪乱土 (軸圧縮qu)	0 3 15 60

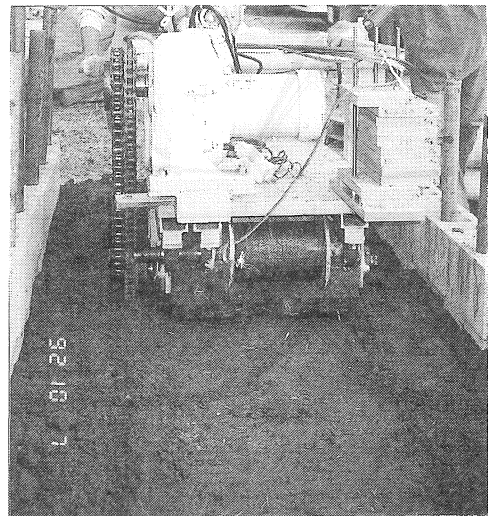


写真-2 転圧状況

3. 実験結果と考察

3.1 応力伝播特性

ローム盛土の応力伝播特性試験の結果を図-4および図-5に示す。図-4はローラが点Gから点Aに向かって走行している時点の点C付近(図中の矢印)の基礎部に埋設した土圧計の応答値を転圧回数をパラメータとして示している。図より、3層の結果にばらつきが認められるが、層数(層厚)が多いほど土圧は全体的に減少し、転圧回数の差による影響も小さくなる事が分かる。また、C点以外の土圧はかなり小さく現れており、ローラの転圧荷重は平面的にかなり狭い範囲に対して伝播していると考えられる。図-5は間隙水圧の応答値を示している。図を見ると、間隙水圧はローラがほぼ真上に達した時に最大となり、概略0.15kgf/cm²の大きさである事が分かる。図-6は間隙水圧の発生量を全応力(土圧計計測値)との関係で整理した結果であり、層数の増大に伴ってB値が大きくなるようである。

図-7はマサ土盛土の応力伝播試験の結果である。本試験ではローラの車軸方向(走行方向に対して直角)の伝播特性を調べるために土圧計を図中のスケッチのように3台設置している。埋設位置No.①(走行方向中心軸下)について、ローラ走行時と停止時の土圧の計測値を比較してみると、走行時に対して停止時は16~37%大きく現れ、この差は層数が少ないほど大きくなっていることが図より知られる。また、埋設位置No.②およびNo.③の走行時の土圧はNo.①と比較して30%以下の値を示し、ローラ幅より外側30cmのNo.③では土かぶり圧の2倍程度とかなり小さくなっており、転圧荷重の伝播がほとんど生じていないことが分かる。

図中の破線は修正ケブラー法により求めた弾性解の結果である(埋設位置No.①)。測定値は弾性解にかなり近い結果となっている事が分かる。また、1層目のローラ停止時の土圧は約1.1kgf/cm²であり、この値はローラの接地圧力1.2kgf/cm²にほぼ等しい(接地圧力=0.05xローラ自重/タンピング

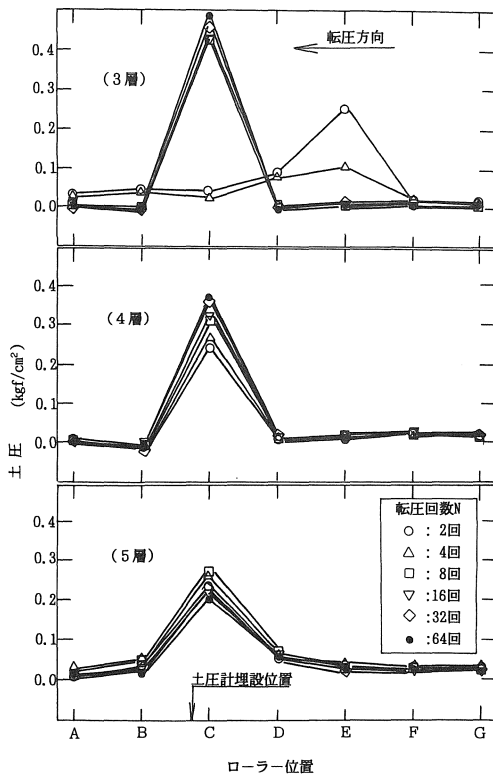


図-4 土圧の計測値

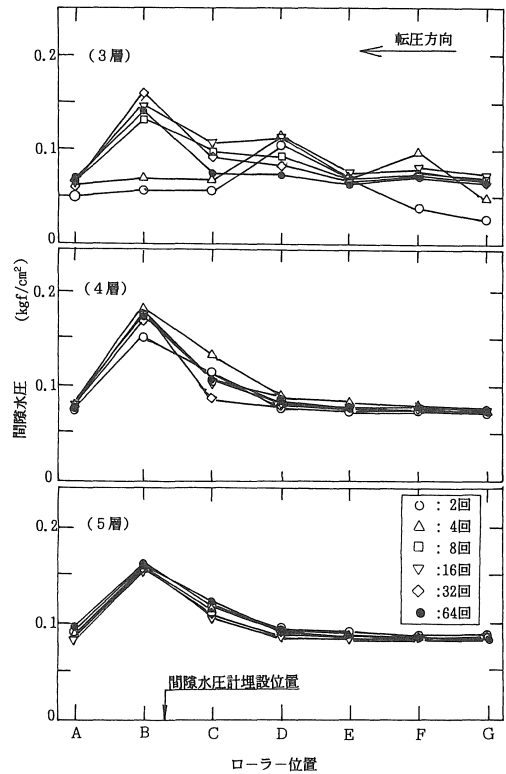


図-5 間隙水圧の計測値

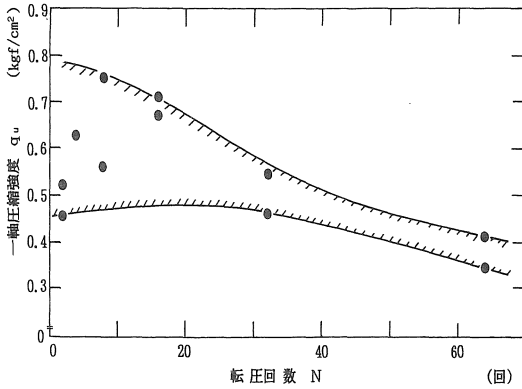


図-9 一軸圧縮強度と転圧回数
(軟化試験盛土)

ある。深度 $z = 20, 40$ および 60cm の $q_c \sim N$ 関係には転圧回数 N の変化に伴う q_c 値の変動はあまり認められないが、 $z = 10\text{cm}$ の q_c 値は転圧回数 N の増加に伴って約 4 割低下している。このことから、盛土の軟化は転圧面から 10cm 程度の範囲で生じたものと考えられる。

3.3 強度回復特性

図-12は、軟化試験を行った後現場保存した盛土に対するコーン貫入試験(標準コーン, $1/2\text{in}^2$ および鉛直管内で養生した不攪乱試料に対するミニコーン ($1/4\text{in}^2$) の結果を示している。図は転圧回数をパラメータに選んで整理したものであるが、養生日数の変化に対する q_c 値の変動はいずれの転圧回数においても認められず、両試験共に q_c 値は平均的に $q_c = 6 \sim 7 \text{ kgf/cm}^2$ となっており、強度の回復は生じていないことが知られる。

図-13は、一軸圧縮強度 q_u に着目して強度回復を調べたものである。全般的に見ると q_u 値は養生時間の増大に伴って若干増加傾向にあるようであるが、養生時間が短いことや測定値のばらつき等により明確な傾向を知ることはできない。なお $q_c \sim q_u$ 関係の表示式として、 $q_c = 5 q_u$ (一般粘性土)³⁾、 $q_c = (8 \sim 12) q_u$ (関東ローム)⁴⁾ などが提案されている。本実験の場合、 q_u 値を平均的に $q_u = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ (図-13) とすると、関東ロームに対する $q_c = (8 \sim 12) q_u$ 関係が適合する。

応力伝播試験においても盛土の一部を保存して転圧後の強度の回復特性を調べた。図-14はこの結果

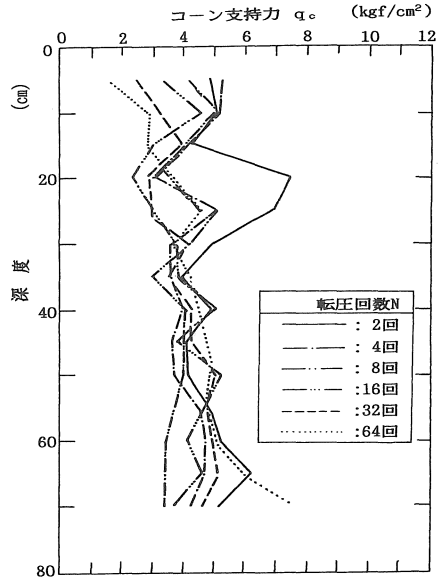


図-10 コーン支持力分布
(応力伝播試験盛土)

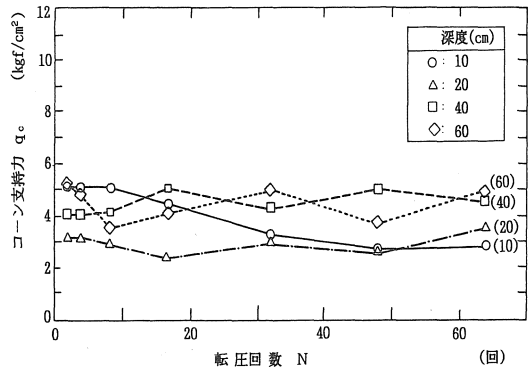
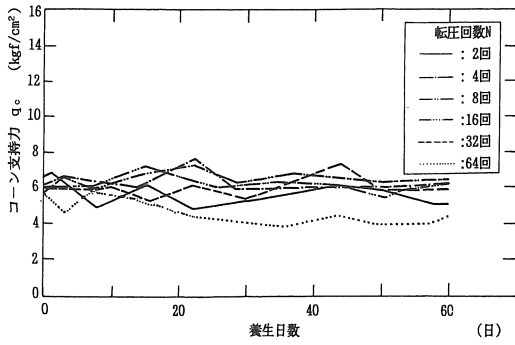


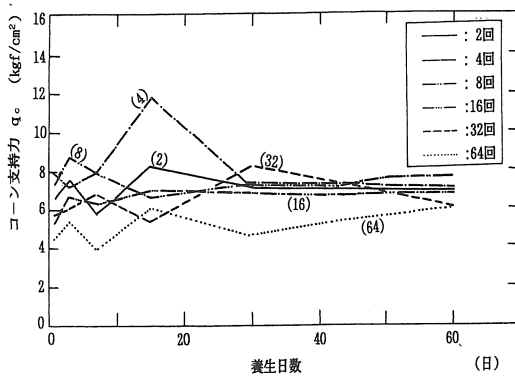
図-11 コーン支持力と転圧回数の関係
(応力伝播試験盛土)

であり、深度をパラメータに選んでコーン貫入抵抗値 q_c (標準コーン, $1/2\text{in}^2$) と養生日数の関係を示している。図-12と同様に、本図においても養生日数に対する q_c 値の変化は明瞭でなく、強度の回復現象を考察することはできない。

図-15は、応力伝播試験盛土に埋設した間隙水圧計の全ての測定値の経時的変化を示している。図より、初期の段階における測定値に若干のばらつきが認められるものの、間隙水圧は徐々に低下し、 $600 \sim 800$ 時間 (約 29日) 経過した時点でほぼ消散していることが知られる。



(a) 標準コーン(1/2in²)



(b) ミニコーン(1/4in²)

図-12 コーン支持力、 q_c と養生日数の関係

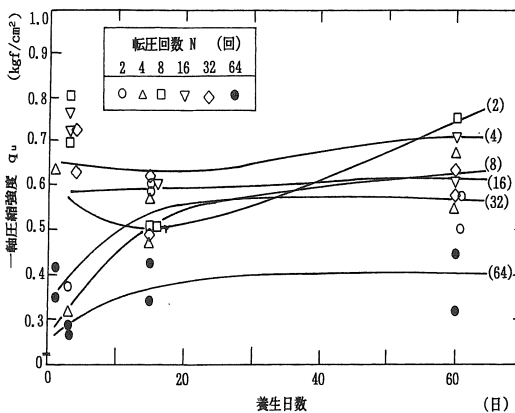


図-13 一軸圧縮強度 q_u と養生日数の関係
(軟化試験盛土)

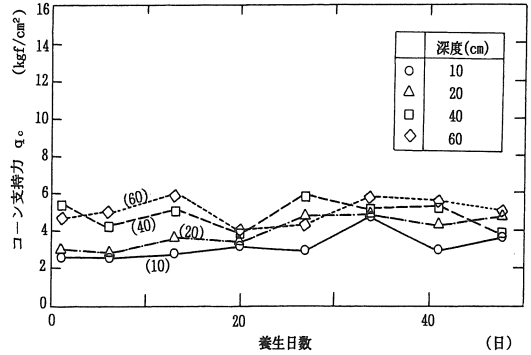


図-14 コーン支持力 q_c 養生日数の関係の経時的変化
(応力伝播試験盛土)

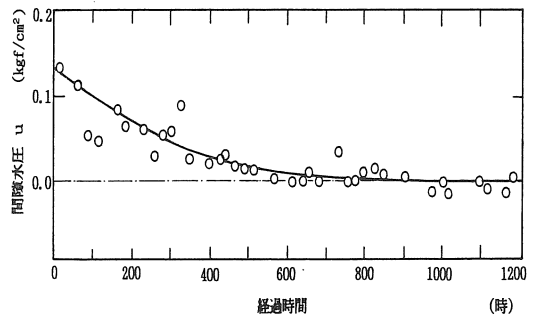


図-15 間隙水圧の経時的変化 (応力伝播試験盛土)

4. 結論

本実験により得られた主要な結論は次の通りである。

(1) 深度方向に対する転圧荷重の伝播領域は盛土材料の違いによる影響を受ける。高含水比のローム土ではマサ土と比較して深部まで荷重が伝播される。

(2) また、転圧荷重の平面的な伝播領域は車輪および走行方向共に30~50cm程度である。

(3) ローム盛土では、転圧の進行(層数の増大)に伴ってB値は大きくなる。すなわち、転圧によってローム土の骨格構造が破壊されるため盛土は軟化する。

(4) 転圧による軟化は一軸圧縮強度 q_u に明瞭に現れる。本実験においては60回の転圧において q_c 値は30%程度低下する。

(5) 強度の回復現象に関しては、測定値が少な

かったことや測定値のばらつき等により明確な結論を導くことはできない。しかし、転圧によって盛土内に発生した間隙水圧は完全に消散していることから、十分な養生時間を確保して実験を行えば強度回復現象の把握は可能であると考えられる。

《謝辞》

本研究を行うにあたり、三菱建設株式会社 鬼頭佳男氏、株式会社AICO 大山英治氏・松浦次夫氏にご協力頂いた。ここに感謝の意を表します。

《参考文献》

- 1) 久野悟郎：土の締固め, 技報堂全書, 1963.
- 2) 日刊工業新聞社：施工技術, Vol. 14, No. 6, 1971.
- 3) 室町忠彦：粘性土におけるコーン貫入抵抗と一軸圧縮強度との関係, 土木学会誌, Vol. 42, No. 10, 1957.
- 4) 土質工学会：日本の特殊土, 土質基礎工学ライブラリー-10, 49-59, 1974.
- 5) 大根・成田・奥村・片桐・村瀬：締固めた関東ロームの強度特性に関する研究Ⅰ, 愛知工業大学研究報告第19号B, 217-225, 1984.
- 6) 大根・成田・奥村・片桐・村瀬：締固めた関東ロームの強度特性に関する研究Ⅱ, 愛知工業大学研究報告第19号B, 195-204, 1984.
- 7) 山口・大根・成田・奥村・稲葉・片桐：実大斜面の破壊実験と安定性の検討, 愛知工業大学研究報告第20号B, 157-165, 1985.
- 8) 奥村・成田・大根：関東ロームを用いた盛土の強度低下特性, 土木学会第40回年次学術講演会, 577-578, 1985.
- 9) 成田・奥村・大根：関東ロームの締固め後の強度回復に関する実験, 土木学会第40回年次学術講演会, 579-580, 1985.

(受理 平成 5年 3月20日)