

夫れ故洪水到達時間が5時間以内に到達する様な部分には、Ione 紙の雨量を標準として流量を求めれば安全であろう。けれど之は極めて稀に起ることであるから、少々冒険的ではあるが、Ione よりは低い標準にしても、普通は大丈夫であろう。大中河川ならば到達時間は概ね5時間以上であろう。仍つて図-3 に於て5時間以上の所は破線で10時間の所まで線をひいたにとどめた。

〔註 2.〕 降雨強度に就て

短時間に強い雨の降つた時、其の雨の強度と継続時間との関係は次式にて表わせることは、永年の氣象観測から求められて居る。一般に

$$R = at^b$$

R は mm で t 時間に降つた雨 a は1時間の最大降雨量を mm で示した数、 t は時間 b は指数、

此の式は曾て中央氣象台から発行された中央氣象台彙報第 22 冊第 1 号 (昭和 16 年 6 月下旬~7 月下旬豪雨報告) に高橋浩一郎、眞清國光両氏が発表された所の式を一般化して、既掲「Ione Tpyhoon に就て」の報告中に佐藤義正氏の発表された式であり、前記の高橋、眞清両氏は b を 0.5 とされたが、之は相当多くの例から、定められた平均値である。而して佐藤氏は Ione 級では $b=0.59$, Kathleen 級では $b=0.49$ を得られて居る。又私の想定した曲線 図-2 (2) では $b=0.4$ となつて居る。いづれにしても実用上大差はない。指数に就て彼是論ずるよりも c なる係数をどれ位にとるかが問題である。

〔註 3.〕 c に就て

c は $c_1 c_2$ のかけ合せた数であることは前に述べた通りである。 c_1 は遅滯係数であり、下水道の計画には $c_1 = \frac{1}{n\sqrt{F}}$ とし n の値は次の様にして選ばれる。

- $n=8$ 勾配の強き多少円形をなせる排水区域
- $n=6$ 平均の状態
- $n=5$ 稍勾配の弱き細長き区域
- $n=4$ 勾配の弱き細長き区域

而して F は此の場合には ha を単位として居る。けれども、河川の様大きい区域に此の式があてはまるか如何かは、明かでない。尙將來の研究に待たねばならぬ。

c_2 は流出係数で、屋根の様に降水全部が流れ出る場合には 100% に近い、85~90% 位であるが、砂利道路などでは 15~30% 公園又は庭園草地等は 0~25% 畑地及び鉄道敷地では 20% 森林では 10% などと種々の値が示されて居るが、之も降雨が永くつづいた後などでは大分百分率の値が増すものと見ねばならぬ。

以上の種々の条件を考えて見て c の値が定まるのであるが、よりよき値があつたら欲しいものだと只管念願して居る。最も大なる流量を與ふる様に考えても c の値は 0.5~1.0 の間にあると思われる。0.6~0.8 位にとれば余程安全と称してよからう。

本文を草するに当り、仙台管区氣象台長理学博士本多弘吉氏に種々御世話になつたことを厚く感謝する。

土の繰返し圧縮試験に就て

正 員 八十島 義之助*

I. 概 要

繰返し荷重を受ける土はそれに依つて何んな状態を呈するだらうか。又其の状態が如何なる機構に基くものだらうか。之等を実験室的な特殊の2種の試験に就て調べた。いづれも攪乱された土を用いたが、初めには之で円壘型供試体を作り繰返し軸荷重を加へ(土円壘の繰返し圧縮試験。次には直方体の煉瓦型供試体を作り之の上面中央部に繰返し載荷重を加えた(土の繰返し載荷試験)。前者を以て側面膨脹を許した荷重状

態とし、後者ではそれを許さず平面歪の状態とし、且つ双方共繰返し回数を 100 回前後に止めた。

II. 土円壘の繰返し圧縮試験

1 供試体

東京本郷合地のロームを用いた。予め 28 番篩を通らぬ粒子は除去し、内径 5cm 高さ 10cm の円壘型枠(図-1 参照)にて成型し、室内乾燥させ所定の含水量となつたものから逐次試験した。尙成型の過程に於ては、土の組成に関し各供試体が能うる限り均等であるように努めた。

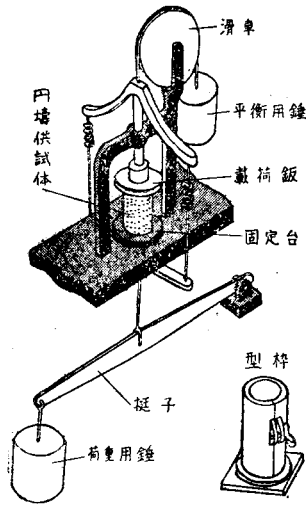
2 装置及び試験方法

* 東京大学第一工学部助教授

垂直移動する載荷板に、挺子を通じて荷重用の錘を又滑車を介して平衡用の錘を吊下げた。後者は載荷板自体の重量を供試体に加えない爲のものである(図-1参照)。

此の装置の主要部には水重式圧縮試験機¹⁾を流用した。

図-1 土円礫の繰返し圧縮試験装置説明図



試験の方つては供試体を試験装置の固定台と載荷板で挟み錘を手で反覆上下する。下した場合は錘と挺子などの重量が供試体に加わつて来る。一方載荷板の上下移動をマイアル・ゲージで読み取る。斯くして破壊に至る迄圧縮を繰返し約100回に至つても未だ破壊しないものに対しては電動の土質用圧縮試験機で圧縮し、破壊荷重を読み取つた。平均加重速度は $0.05 \sim 0.11 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{sec}$ である。

3 試験結果

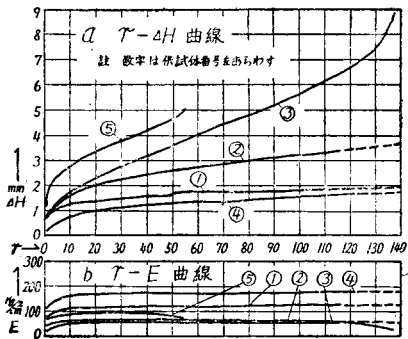
供試体の試験に於ける状態は表-1のとおり。

表-1

供試体番号	含水率 %	空隙率	繰返し圧縮應力度 $q \text{ kg/cm}^2$	破壊應力度 kg/cm^2	摘要
1	36.4	0.627	0.29	0.77	111 回繰返した
2	39.0	—	0.29	0.63	117 回繰返した
3	40.2	0.638	0.28	0.28	138 回目
4	35.0	0.631	0.57	0.97	127 回繰返した
5	37.3	0.627	0.57	0.57	57 回目

荷重の繰返し回数 r と永久圧縮量 ΔH 並に弾性係数 E の関係を示すと 図-2 a, b のとおり。但し此の場合、供試体の全長に亘る永久圧縮量を以て ΔH と

図-2 土円礫の繰返し圧縮試験に於ける $r-\Delta H, E$ 曲線



し、又1回の荷重に依り生ずる供試体全長に亘る歪量 e と繰返し圧縮応力度 q の比を以て E とした。即ち $E = q \cdot e$ なる関係がある。

上掲の図、表から読み取れる特徴的な現象を列記すると次のようになる。

a. 処女状態では破壊しない供試体も同じ荷重が或る回数繰返されると破壊に至る場合がある。恰度金属材料などの疲労現象に似ている(3, 5号供試体)。

b. 図-2 a の $r-\Delta H$ 曲線では或る程度を超えると ΔH は r に対し略々直線的に増加する。換言すれば1回の荷重に依る永久圧縮量の増加率 $d\Delta H/dr$ が略々一定になる。

c. 図-2 b の $r-E$ 曲線では E 初めは r に伴つて増加するが暫くすると一定になる。

d. q が等しくても含水量が大きくなると $E \rightarrow$ 小, $d\Delta H/dr \rightarrow$ 大となる傾向があり、或る程度を超えると繰返し際中でも破壊に至るものが生じる。

III. 土の繰返し載荷試験

1 供試体

II の試験の場合と略は同じである。ただ今度々内法 $22 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ の木製直方体型杵に土を詰め所定の含水量になつたらそれより取出しナイフで整形して試験箱に收容した。試験箱は内法 $20.7 \text{ cm} \times 14.0 \text{ cm} \times 4.2 \text{ cm}$ の直方体の箱で1面は厚さ 1.5 mm のガラス板に、他の4面は木板に囲まれ供試体は其の内壁に密着する。

2 装置及び試験方法

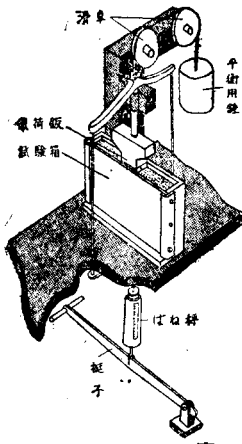
II の試験の場合と似ている(図-3参照)。ただ今度は載荷板を矩形とし其の一边が供試体の幅に等しく、又荷重用の錘を排する一方パネ秤を吊針金の中間に挿入した。

試験の方つては試験装置の固定台上に、試験箱に收容した供試体を置き、其の上面中央に載荷板をあてがい挺子を手で圧すことにより繰返し荷重を加えた。荷

1) 鉄道大臣官房研究所: 鉄道省土質調査報告 第4集 P. 55: 1936.

2) 3号供試体は100回目あたりから、近く破壊しそうな傾向が見えたので138回目の破壊に至る迄荷重を繰返した。1, 2, 4号供試体はその様な傾向が見えなかつたので111~127回で繰返しを中止した。

図-3. 土の繰返し載荷試験装置説明図



重はバネ秤を読みつつ7~8kgとし、載荷板の上下移動をダイヤル・ゲージで読み取った。101~114回の繰返し載荷の後に万能手動試験機にて破壊に至る迄載荷した。平均加重速度は0.05~0.16 kg/cm²・secである。

3 試験結果

供試体の試験に於ける状態は表-2のとおり。

表 - 2

供試体番号	含水率 %	空隙率	繰返し載荷応力度 q kg/cm ²	終極永久沈下量 cm	終極弾性係数 E kg/cm ²
1	31.3	0.652	0.92	0.03	400
2	33.5	0.642	0.92	0.09	600
3	36.5	0.640	1.08	0.18	400
4	33.5	0.638	0.55	0.04	350
5	35.0	0.630	0.62	0.05	200
6	37.8	0.653	0.62	0.10	250

繰返し回数 r と永久沈下量 ΔH 並に弾性係数 E の関係を示すと図-4 a, b のとおり。荷重繰返し終了時に於ては大部のものは其の上面は載荷板に近寄るに

図-4 土の繰返し載荷試験に於ける曲線

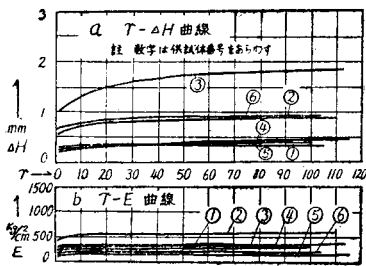
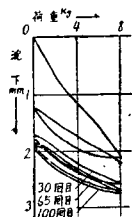


図-5 土の繰返し載荷試験に於ける荷重-沈下曲線 (6号供試体)



0.93~2.55kg/cm²に至つて載荷板の両端を始点とする八の字型の亀裂が出現し、約45°の傾斜角で外下方に向つて発達した。今度の試験に於ける弾性係数 E とは、載荷応力度 q を供試体の初めの高さと沈下量の比 e で割つたものである。即ち $E = q/e$ なる関係がある。尚載荷繰

返し中途で破壊に至るものはなかつた。

上掲の図表から読み取れる特徴的な現象を述べると次のとおり。

a. 図-4 の $r-\Delta H$, E 曲線では ΔH , E 共繰返し回数が或る程度に達すると一定値になる。但しはじめの頃ではそれに較べるとかなり異なる値を示す。

b. 増減を認められなくなつた ΔH 及び E をそれぞれ終極沈下量、終極弾性係数と謂うならば(表-2 参照)、それ等と含水量, q の間には何等かの関係が有りそうである。

c. 図-5 より求められるヒステリシス・ループの囲む面積は初めは大きいが急に減少し繰返しが進むと或る一定値に落ち着く。

IV. 試験結果の検討並に考察

II, III に於て述べた試験結果は非常に少数例の、しかも極く限られた実験条件に於てのみ云い得るに過ぎないがそれに基いて検討並に考察を試みよう。

1 土円錐の繰返し圧縮試験

繰返しが進むに従い永久圧縮量を増すと云うことは時間の経過に伴う匍逼に依るものとも解釋されたが、検査の結果それに異なることが判つた。即ち5号供試体(表-1参照)を例に取り、繰返し5回目と最終回との圧縮量を測定して見ると表-3 のとおりとなり、前者がたとえ時間の影響を受けても10秒後に2.82mmとなつたに過ぎず、後者の5.65mmに遠く及ばないことが明示されている。

表 - 3

繰返し回数	圧縮応力度 kg/cm ²	時刻 sec	(永久) 圧縮量 mm
5	0	—	2.22
	0.57	0	2.74
	"	5	2.80
"	"	10	2.82
(最終)	0	—	2.35
56	0.57	0	5.65

II-5 に於て述べたところの、永久圧縮量増加率、並に弾性係数が一定であると云う結果は如何なる圧縮機構に依るかを考えて見た。そして次の事項を1つの『構想』として取上げて見た。

a. 『破壊限度以下の荷重が1度加わると土円錐内の或る面が沈りを起す。此の沈りは非可逆的ではあるが破壊するに至らぬ謂わば安定な沈りである。之を一次沈りと仮称しよう。再び同じ大きさの荷重が加わると場処は異なるが平行的な地の面で始めと同じ性質の一次

りを起す。一度沁つた面は一種の歪硬化の状態を呈し、荷重の大きさが変らぬ限りその後は非可逆変形を起さない。斯くして荷重が繰返されるに従い、沁り面の数は増加して或る回数に到達すると土円壩全体が之に覆われ（尤も境界部は局部に異つた状態を呈す）飽和状態となる。此の一次沁り面は金属結晶に見られるように二重或は三重の沁り面を形成することもある。』

b. 『飽和状態になつた土円壩に更に荷重が繰返されると別な性質の沁りを発生するが之は不安定で完全な破壊をきたす。之を二次沁りと仮称しよう。』

c. 『一次沁り面の特性は供試体を構成する土質及び荷重の性質に依り変化する。即ち其の移動量及び隣接沁り面との間隔は繰返し圧縮応力度及び含水量に伴つて大きくなる。円壩軸に対する傾斜は内部摩擦角を媒体として含水量の増大に伴い小さくなることも考えられる。』

以上の『構想』を基にして今回の試験結果を考察して見よう。一定の大きさの繰返し荷重が加わる場合、始めの内一次沁りが形成されている間はどれも無いが、それが飽和状態になると今度は二次沁りが生じて破壊に至る（II-5-aの現象）。一定の大きさの繰返し荷重のもとで形成される一次沁りは毎回同じ性質を示すから、永久沁り移動量も同大となりそこで土円壩としての『永久圧縮量の増加率』は一定となる（II-5-bの現象）。一度沁つた面は自後非可逆的変形を起さないから土円壩としての毎回の弾性変形量は変化せず、そこで弾性係数 E も一定となる（II-5-cの現象）。含水量が大きくなれば一次沁り面の移動量は大きくなるから『永久圧縮量の増加率』は大となり、又その場合隣接沁り面の間隔が大きくなるから同じ大きさの土円壩に於ては飽和状態に速かに到達し100回前後の繰返しでも破壊に至ることになる（II-5-dの現象）。尚繰返しの初期に於て E 及び $d\Delta H/dr$ が変化するのは供試体の不整或は局部的な圧密作用に基づく過渡的現象であり、又繰返し圧縮応力度が或る限度より小さければ一次沁りさえ起さず従つて永久圧縮量の増加率は0となることも考えられる。上述の如くして『構想』はII-5の試験の範囲に於ては其の結果を説明することの出来る圧縮機構であると云うことが判つた。

2 土の繰返し載荷試験

此の試験に於ては供試体の前後方向の膨脹は起させぬように計画したのであつたが、試験箱に用いたガラス板が薄くて荷重が加わると孕み出し（載荷重10kgの時、最大撓み量0.10mmとなつた）満足すべき平

面歪の状態が得られなかつた。載荷試験の際に現われる側表面への沁り上り（Kurdjumoff効果）或は流動（Plastic Flow）の破壊現象には、側表面の上昇、載荷鉄縁端に於ける土の側方流動が伴わなくてはならない。然るに今回の試験に於ては側表面は一般に沈下の傾向を示したし、破壊荷重を加えた際に先ず生じたのが側方流動ではなくそれとは対照的な入の字型の亀裂であつた。一方、荷重—沈下曲線に就て見る（図-5参照）。載荷鉄縁端の土が側方流動する場合は此の曲線形状が凸型となることが星基博士の所論から推察される³⁾。然るに今回の試験に於ては、圧密試験機に依る既往の圧密試験結果と同じく凹型をなしていた。以上の理由に依り、今回は土円壩の場合に考えられた非可逆的な沁り面の形成などは起らず、單に可逆的な圧密のみが反覆したのだと結論出来ることになる。斯くして毎回同じように圧密を繰返すのだから、それに依りて弾性係数、沈下及びヒステリシス・ループの面積は一定と云う試験結果を招來したことも納得が行く。

それでは、流動或は沁り上りを起さず何故圧密のみを起したか、之に於ては嘗て類似の実験が Housel 氏の許⁴⁾、或は鉄道省⁵⁾等で行われ、攪乱された上でしかも前方への膨脹を許した後者の実験に於て同様の結果が示されている。尤もそれ等は荷重を繰返してはいない。いずれにせよ試験装置の寸法、土質の状態（圧縮性の大小等）が大きく影響したものと想像される。

尚今回の試験に於ては、載荷面積を変更することに依り載荷応力度を増減したから嚴密には之の補正もしなくてはならない。

V. 結 言

試験結果が量的な結論を得る程度に迄立到らなかつたこと、『構想』が單に今回の試験結果のみを対称とし、他の容易に得られる筈の立証に欠けていること、又其の數理的な表現が形成されていないことなどが未解決の点である。これに関しては各種條件の広い範囲にわたつて定量的な実験を行い、更に性質の異つた各種荷重を繰返しそれに対する土の特性をも究めて行きたいものと思つているが、それは將來の機会に譲ることにする。以上

3) 工学博士 星基和：基礎の支持力論：コロナ社：1948.

4) Housel: Soil Action Shown by Model: Engineering News Record; Nov. 24, 1932: P. 626.

5) 鉄道大臣官房研究所：鉄道省土質調査報告第5輯：P. 81. 1938.