

現場締固め試験法

久 野 悟 郎*

1. ま え が き

土工構造物の築造に際して、その材料である土を締固めると安定した構造物が得られることは明らかであり、Proctor 以後土の締固めの研究が画期的な発展をとげ、締固めた土の実験室内における研究はほとんどが完成の域に達した。しかし、土の締固めの実験室内試験と、実際の締固め機械の現場における締固めとは、未だ十分な理論的結びつきが解明されていない現在、現場において締固め施工に使用すべき機種を選定、締固めの条件の決定、および施工管理試験法の規定を行うためには、対象とする構造物の重要度、工事量の大小に応じて、現場締固め試験を計画し、それによってすべてを制御しなければならない。近年日本においても、各処において現場締固め試験が行われ、すぐれた成果が、 $\times$ 土と基礎 $\times$ 誌上にも発表されているし、建設省においても、直轄技術研究会の要望課題の一つにこの問題が数年にわたり取上げられ、日本各地におけるデータが発表されているのは喜ばしいことである。

しかし、後述の如く、現場における土の締固めを支配するファクタは非常に多く、そのすべてを網羅した試験を行うことは、時間的にも、経費上も、全く不可能に近い。従って各現場試験を担当した技術者が、それぞれの必要とした結果が得られるような試験計画によって、試験を行っている。

このような状態にある現場締固め試験には、当座、画一的な試験法は規定できないし、又、そうすべきではないと思われる。ただそれぞれの現場試験が、ただその場だけのものとして消えてしまうのでは、甚だもったいないから、できるだけ共通な方式に従って試験条件を記録に止め、後になってからも、お互に比較できるようにしておくことが大切であると思う。筆者は第3巻第8号(1955年1月号)に転圧実験の計画、及び試験条件の記録すべき事項の私案をのべたので、それについては、上記の報文を御参照頂きたい。なお当講座においても若干その報文と内容の重複する点があることを前以ってお詫びしておく。

2. 現場締固め試験の目的及びその計画

現場締固め試験の目的としては次のような3種の場合が考えられる。

- (1) 実際の締固め機械の締固めのメカニズムを研究するための試験
- (2) 締固め機械の性能試験を目的とする試験
- (3) 工事に先立って試験盛土を築造して施工法を決定するための試験

これらの目的に応じて、試験の計画は当然違ってくるのは明らかである。(1)はやや特殊な場合であり、この講座の範疇をはずれたものであろうが、恒久的な研究施設によって十分な設備のもとに研究が進められるべきだと思うが残念ながら日本にはその完全なものがない。

(2)については、建設機械化協会におけるロードローラ性能試験要領中に転圧試験が加えられており、その他の機械についても漸次統一された規格試験が行われるようになると思われる。日本において(1)、(2)の試験が、完全な軌道に乗らないのは、一つに試験場の問題がある。日本のような雨の多い国では、かかる目的の締固め試験の大敵は降雨で試験条件が混乱させられることである。

屋内試験場の1例を写真-1に示す。これは英国の Road Research Laboratory のもので、写真に見える試験土槽、(深さ約1m位)が4槽位1つの建物中に設けられており、実物の機械による締固めが完全に屋内で行われるようになっている。



写真-1

Road Research Laboratory
の屋内締固め試験場

*日本道路公団名神高速道路部第一課

ことに(2)のためにはかかる屋内試験場において共通な試験条件のもとに試験を行わなければ十分目的を達することはできない。

(3)の場合が、現状においてはわれわれに最もさしせまっている。そしてさらに試験目的が細分される。

- (a) 締固め機械の機種を選定
- (b) 土質を選定
- (c) 締固め含水量の規定
- (d) まき出し厚さの決定
- (e) 締固め回数の決定
- (f) 機械の組合せの選定
- (g) 締固め速度の検討 等である。

現場の状況に応じて、これらが組合されてくるし、あるいは、その他の条件により、条件がかぎられる場合もある。結局担当技術者は、その現場の真に要求する目的を適確に把握して、試験条件をできるだけしぼって、短期間に能率よく試験を終了することが、経費の上からも、天候等により試験がわずらわされぬためにも、得策である。

ごく一般的に試験の計画についてふれてみると、(a)については、大体使用機械は限りがあるのが普通で、その選定に迷うことは稀であるが、粘性土に振動式締固め機は不向きだとか、砂にシープスフートルローラーはだめだというような一般的通説に反するような機種の選定は避けた方が無難である。また機械によっては重量を変え得るものもあるが、その場合はゆるされれば3段階位に重量をかえたい。

(b)の土質の選定は、(3)の現場試験の場合は大体土質が定ってしまっているのが普通である。(特に(2)の性能試験のような性格をもつ場合には試験土として、砂質土、粘土質土及びその中間位の粘度をもつ土質の3種をえらぶべきである)

(c)の締固め含水量については

(i) 自然含水比がJ I S突固め試験の最適含水比より低い場合(この場合は散水により含水量を変化させ、機械締固めの最適含水比を求めることができると推定される)には最小限次の3種の含水量の土につき試験すべきである。

- ・自然含水比(自然含水比が甚だ低い場合は適当に散水する)
- ・J I S突固め試験の最適含水比付近,
- ・J I S突固め試験の最適含水比より若干高い含水比

(ii) 自然含水比がJ I S突固め試験の最適含水比より高い場合(この場合の含水量の調節は試験土の気乾による減少によらねばならぬ。これは実際の施工時には不可能な場合が多い。関東ローム等火山灰質の土質は大体これに属する)には、試験含水比とし

ては次のようにとる。

- ・自然含水比
- ・施工面から可能であると判断されるまで乾燥した含水比(これはあまり大きな変化は期待できぬのが一般である)

(d)のまき出し厚さについては、使用機械及び予想している施工能率とを勘案して3~4種位えらぶべきである。大体20cm以下のまき出し厚さは施工上不経済であろうから(但し、道路の路盤材料の場合をのぞく)、現在の日本の締固め機械については20cm, 30cm, 40cm(50cm)位がよいのではないかと思う。(砂質土で重い振動式締固め機械を用いるときは50~100cm位にした方がよいし、脚の長いシープスフートルローラーを用いた場合は5~10cm増にした方がよいかもしれぬ)

(e)の締固め回数については、大体10~15回で終了するように計画すべきである。もっと締固め回数が要求されるような場合は、機種を選定その他に検討を加える必要があろう。なお試験を開始した後、締固め面が、回数を増すにつれ甚しく沈下するような場合は、機械が重すぎるかあるいは土がover compactionの状態にあって側方に流動を起したものと見て締固めを中止すべきである。

(f)機械の組合せの問題は近年の上載荷重の増加にもとづく高締固め度の必要と、締固め機械の進歩につれてクローズアップされてきた問題であるが試験としては計画が非常にむづかしい。一度に結果を出すことを考えずに、各組合せごとにトライアルに数回の試験を行ってみる必要もあろう。この際にはその組合せの施工の経済性を十分に検討しなければならぬのは勿論である。

(g)の締固め速度(転圧速度)については、粘性土で、比較的転圧面がなめらかな機械を使用した場合に、締固め度が転圧速度によって変る場合があるので考慮を要することがある。しかし、この影響はやや二次的な性格のものであるから、一般には無視してもよい。締固め速度は大体施工時に予想している速度に等しいか、やや低目をえらぶべきである。なぜならば試験においては結果のちらばりを少なくするために機械の進行位置は毎回一定に規定する必要がある、そのために若干低い速度の方が、その規正が容易だからである。

その他、タイヤローラーであるとタイヤの空気圧、振動式になると振動数、振動力等が変化させ得る場合があり、しかもその決定は大きな意味をもっている。よってこれらを考慮すると試験条件は莫大な数になる。そしてその中からどれを選んで試験するかは、一般にはきまりはない。

3. 試験の方法及び測定項目

(1) 試験場の選定及びその準備

講 座

2の(1), (2)の場合には試験場は平坦な硬い地盤上に設けなければならぬ。でき得れば舗装した版にすることが望ましく、そうすれば試験土の入替えに際して困難が少い。降雨及び日照をさけるため、屋根を設けられれば、最もよい。現場試験の場合は、試験場位置は大体限られている場合が多いが、できるだけ平坦な、排水のよい地区をえらぶべきである。試験土をまき出す原地盤は、自然地盤の時もあろうし、前の転圧面である場合もあろうが、いずれにせよ、試験に使用すると同等は機械が少なくとも5回締固めた程度の剛性をもたさねばならぬ。(軟弱地盤地帯に、薄い試験盛土を作るとは絶対にさけるべきである) 盛土と原地盤との境界には石灰を撒布する等の適当な方法により境界を明瞭にしておき、試験後に原地盤の沈下の程度を判定できる予備措置をとっておかねばならぬ。また原地盤の締固め度を知るために前以って自然密度、含水量の測定及び貫入試験等を行っておくことがのぞましい。

各試験条件ごとに設定する試験区間の大きさは、使用機械に応じて適当にえらぶべきであるが、普通、巾4 m位、長さ10 m位(ランマ、小型の振動締固め機を用いるときは長さは5 m位でもよい)が適当である。一試験区間が単一な試験盛土である場合には、側法は1:1程度とし、機械の進入、退出のための坂路を設ける。坂路頂部と試験区間の間には3~4 m位の平坦区間をおき、坂路部の影響が試験区間に及ばぬようにする。

試験土のまき出しは、できるだけ均一な材料により、均等な密度にまき出しを行わなければならぬ。室内締固め試験の場合と異り、まき出し密度の結果に及ぼす影響は大きい(締固め回数、表面沈下量に特に影響が大きい)。よって、まき出し時の状態の実測が極めて大切である。また特に降雨をさけるために試験区間を覆うビニール布等を準備するとよい。

(2) 締固め試験中の試験項目

(i) 締固め密度の測定

締固め密度の測定法には

- (a) コアカッターによる方法
- (b) 砂等の単位容積重量のわかった材料により置換する方法(J I S A 1214)
- (c) volumenometer method¹⁾
- (d) rubber-balloon method²⁾ 等がある。

(a)のコアカッターによる方法は特に粗礫を多く含まぬ場合には最も簡便であり、普通、径、高さ共10 cm位の薄肉円鑿に、刃先及びカラーをつけたものを土中に圧入する方法が用いられる。カッターの肉厚は厚いほど密度が小さくする傾向がある。(肉厚が6.5 mm[1/4 in]から1.6 mm[1/16 in]に減ざると密度の測定値が3 %位増加するという結果が示されている³⁾) その他コア外側にオーガーの刃がついた Auger core barrel⁴⁾ による方

法とか、深さ方向の密度変化を詳細に調べるために、コアの高さを減じ、中の土を付属のブレードで削り取って行く星塾教授の方法⁵⁾等がある。いずれの測定法によるにせよ、密度の現場測定は、測定誤差が多い。一説によれば⁶⁾、細粒土については約0.08 t/m³、粗粒土については約0.16 t/m³の誤差は容認すべきであるといわれている。よって試験盛土の場合には誤差を減ずるため毎回少なくとも5回の測定を行うべきである。よって締固め試験結果を判定するのに密度を用いるのは、場合によっては困難を伴う。よってむしろ転圧前とか、転圧後に密度の測定を集中し、その間は沈下量測定、貫入試験等の強度試験によって結果を整理した方がよい場合が多い。

(ii) 締固め沈下の測定

試験土質が特に悪いとか、機械が重すぎたとかの理由で土が側方流動を起す場合をのぞいて締固め効果の判定が比較的容易な方法は、締固め土表面及び内部の沈下量の測定による方法である。よって締固め回数の増加にともなう締固め度の変化は、これによって判定し、後に転圧前後の密度測定結果と併せ検討すると密度変化を知る上にも大体満足な結果が得られる。表面沈下の測定はレベルと箱尺を使用し、10 mの試験区間につき約10点の測点を設け、その点について測定を行う。土層内部の沈下量を測定するには5 cm 平方位のセルロイド板を深さ方向に5 cm 間隔位に埋設し、(埋設時にはその高さを測定しておく) これを数組設けておいて、各組ごとに所定の測定時に掘出し、その沈下量を測ればよい。

沈下量と締固め回数 N との間には

$$\Delta h_N = \frac{N}{a + bN}$$

なる実験式⁷⁾がよく成立つ。ここに Δh_N は転圧 N 回目の最初からの沈下量であり、 a 、 b は定数である。また a 、 b は機種および被締固め土の特性によって推定できるようであり⁸⁾、今後データが多くあつまると相当に有用な式になり得る可能性がある。(a 、 b なる値を実験結果から求めるには $N/\Delta h_N$ を縦軸に N を横軸にプロットした場合の直線の縦軸の截片および勾配から求めることができる)

(iii) 原位置強度試験

一般に簡単な貫入試験機が用いられる(例えば衝撃式貫入試験機, Proctor Needle, Cone-penetrometer等)。土は締固めにより強度が大幅に増加するから、密度測定よりも各転圧回数の差がはっきりして都合がよい。ことに礫を含まぬ細粒土において然りである。なお貫入抵抗の特性をはっきりさせておくことは、後の施工管理試験に役立つ。

道路の路床の現場締固め試験の場合には舗装設計資料を得るために、平板載荷試験, C.B.R. 試験,(あるいは簡便に衝撃式地耐力測定機⁹⁾による試験)等を行うか、

特に必要な場合には締固まった土層からコアを切り取り、一軸圧縮、三軸圧縮等の室内力学試験を行う。

(iv) 締固め速度

試験区間中の距離のわかった標点間を機械が走行する時間をストップウォッチで測ればよい。

(3) 測定時

道路公団の現場締固め試験要領では前記の各測定を行う時期を次の表のように定めている。但しこれは締固め回数を15回とした場合である。

測 定 事 項	測 定 時
自然含水比、密度	締固め前、15回終了後
表面沈下量	できれば毎回、少くとも 1, 3, 5, 8, 10, 15回
盛土内部の沈下量	1, 3, 5, 8, 10, 15回
貫入試験	締固め前、1, 3, 5, 8, 10, 15回
締固め速度	毎回
平板載荷その他の力学試験	必要な場合は15回終了後

4. 参 考 文 献

- (1), (2), (3), (6) Soil Mechanics for Road Engineers pp. 172~175
- (4) M. J. Hvorslev; Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes p. 160
- (5) 建設省官房機械課；転圧試験要領中、および星塾教授の 2nd International Conference に提出された論文に装置の図面、および結果がある。
- (7) 佐々木次郎；農業技術研究所報告、(F, No. 5) 昭和27年3月
- (8) T. Mogami & G. Kuno; A Method of Estimating Settlement by Roller Compaction, Proc. of 4th International Conference on S. M. F. E, 1957
- (9) 浅井新一郎；衝撃による地盤支持力の測定について 土木学会誌, Vol. 42, No. 5, 昭和32年5月

土 質 小 見

川 崎 浩 司

横の連絡…土木建築界の推進力である、土木学会、土質工学会、建築学会が将来の土木建築の正しい育成、発展を期すならば、その支出となるべきものを強固にしつつ、互いに協力しながら、外部に向かって積極的に働きかけねばならない。その使命とする学術と土木建築技術を結びつけて、社会の福祉増進を計るという責務を実現するには、建設業会のみならず各方面の研究団体、事業団体更には諸外国の諸機関とも緊密な連絡を保ち、その理解と協力をお願いしなければならない。更に政治、経済を背景にした社会の正しい評価に基づく理解とあらゆる意味での援助が無ければ如何なる理想、計画を持ってもその実現は不可能である。土木建築の社会的位置に注目し、冷静な反省をして除くべきものは除きつつ社会評価を自己の力によつて高めてゆかねばならない。その事は土木建築に従事する人々の力を結びつけて始めて可能となる。良心的な設計、施工によつて、基礎のしつかりとした価値ある作品を次々と造るべく努力する事が、土木建築の社会的地位を向上させる事になり、将来の正しい発展の礎石となるのである。現代人の感覚や要求を満たすことができない不完全な作品が多くできるとすれば、社会から置き忘れられ、失意の中に仕事を続けなければならないという患うべき状態になるであろう。建築学会において、近来、土と基礎についての関心が高められ、各大学や研究機関から土に関する論文が多く提出される様になつた事は嬉しい事である。人工の美を以

つて上部を如何に華やかに立派にしても、その目に見えない下部構造が不安であればその価値は非常に低くなるのであるから、上下の関連、横の連絡を考えながら地道な基礎研究を積み重ねてゆかねばならない。余裕ができたからやるのではなく、全体の平衡を考えれば当然その事が必要である。一方構造標準委員会としても数多くの分科会を持ち、それぞれの研究活動が行われている。基礎構造分科会としては、基礎の問題を受け持っているのであるが、単一の分科会がとり組む為には余りにも未知であり、余りにもやるべき事が多いのに驚くのである。各分野のバランスが失われると全体として大きな損失を受けるのであるから、他の研究機関が積極的に基礎の問題と関係のある研究を多くして頂きたいものである。特に長年土と取り組み、建築よりも数段進歩した理論や技術を持ち、貴重な経験による資料や作品を有している土木とは横の連絡を密にして、その指導と協力をお願いしながら大きな体系の中にあつて、健全な歩みを続ける様にしたいものである。又機械、電気、化学等の工学部門や、物理・数学等の理学部門との交流も是非考えなければならない。しかし土の複雑性は理論の解析だけで律する事が出来ないようであるから、その限度を慎重に考える必要があると思う。例えば土の内部の応力、移動、沈下等を求める場合に数学は一つの道具として使われており、むしろ物理性、化学性に重点をおく事の方が正しいのではなかろうか。

(東京工大建築学教室谷口研究室)