

## イギリスの土工の締固めに関する仕様書とその背景

永 盛 峰 雄\*

### 1. 仕様書というもの

「弁当を忘れてもかさを忘れるな」とは、裏日本、とくに山陰地方のことわざという。イギリスにも類似のことわざがあり、また、シルクハットに洋がきのポンチ絵は、だれもが一度は目にするものである。絶対量としての降雨量は、わが国より少ないと思うが、降雨日数は全く多く、冬季においてはとくに晴天は少ない。土工に係するものにとっては、誠に不都合な自然条件である。

最初の土工現場のある Oxford に私がついたのは、ちょうど2月末で、まさに前述の時期に相当した。こんな状態で一体仕事になるのか、という素朴な疑問を当然私も持った次第である。しかし意外であったのは、作業可能な月間の日数を即答できる Oxfordshire の役人は、一人もいなかったことである。

このことは、彼我の仕様書の性格の差を非常に端的に示していると思う。わが国で用いられている仕様書は方法を規定している場合が多く、したがって、発注者にとって、締固め機械が十分にあるか、正しく施工されているかなどは、大きな関心事であり、工事の成功、不成功は監督側の責任において左右される。しかし、この種の仕様書には多少問題がある。たとえば、

㊸ 仕様書の準備段階で、正しい機械、およびそれらの正しい施工法をきめていくこと。

**Oxford** 切土部・砂質であるが、粒径が一様で細かい。地下水位が比較的高く、水位させるための井戸が掘ってある。



\* 正会員 工博 建設省土木研究所機械施工部施工研究室長

㊹ 大きい請負工事では、請負業者の施工を一部始終見まもることは不可能である。夜間工事であれば、さらにしかり。

㊺ 含水量の管理、不適当な材料の排除の問題は、未決定のまま残る。

㊻ 土工のある部分が、十分に締められてないことが発見されても、仕事仕様書のとおり実施されたかどうかを判定することは、困難である。

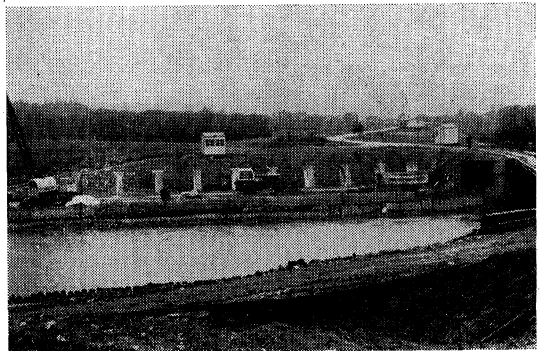
すなわち、小さい仕事にはよいが、大きい請負工事には適当でない。

方法を規定する仕様書に対応するものに、最終結果(End result)を規定する仕様書がある。この場合には、仕事の成功、不成功の責任は、大部分請負業者にある。発注者としてきめることは、施工含水量の範囲と、締固めの状態の規定であり、施工段階では、管理試験を実施して、仕様書の規定どおりに工事が進められているかどうかを検討すればよい。

### 2. 相対締固め度による締固めの管理

わが国およびアメリカにおける締固めの管理は、従来、相対締固め度によって行なわれてきた。これは、現場においても、最適含水量で土は締固めるべきであるという考えかたにもとづいている。しかし、最適含水量と乾燥密度は、締固め仕事量によって変化するので、締固

**Oxford** 橋梁下部工および盛土・盛土の前方に、Oxford の市街がある。手前の川は Isis と呼ばれ、Thames の上流である。



めの管理に対しては本来不合理なものである。

W.A. Lewis氏は、不都合な理由として以下のように述べている。

- ㊸ B.S. (British Standard) の標準突固め試験をしても、現場の締固めに対して、含水量、および締固め状態の最善の指針とはならない。
- ㊹ B.S. は、3/4 インチ以下の材料についての締固めである。
- ㊺ 乾燥密度は、土の種類、粒度によって異なる。したがって、乾燥密度で管理するには、サンプリングをして、それぞれに標準突固め試験をせねばならず、管理試験が増加する。
- ㊻ 相対締固め度のスケールは、満足すべきものでない。ゆるい土で 75~80%、よく締固められた土で 95~100%である。
- ㊼ 含水量の管理は不要だというのが、含水量が高ければ締まらない。湿潤側の塑性土の使用は防ぎ得るかも知れぬが、乾燥側の塑性土の使用を防ぎ得ない。膨張による故障の原因になる。

### 3. Air void による方法

これはイギリス国内の土の締固めに対して、相対締固め度による管理の欠点を避けるために、Road Research Laboratory が提案した一つの試みであった。締固めというのは、本来、機械的手段によって土の中の空気を減少させる過程であるから、締固められた状態を、土中の空げき量によって示すことは、合理的と考えられる。

乾燥密度だけでは、締固め状態の十分な指数にならぬことは、以下の例からも知られる。すなわち、乾燥密度が等しく 110 lb/ft<sup>3</sup> である 2 種の土、一方が粒度のよい砂質土 (well-graded sandy soil) で、他方が砂質粘土 (sandy clay) の比較をしたところ、

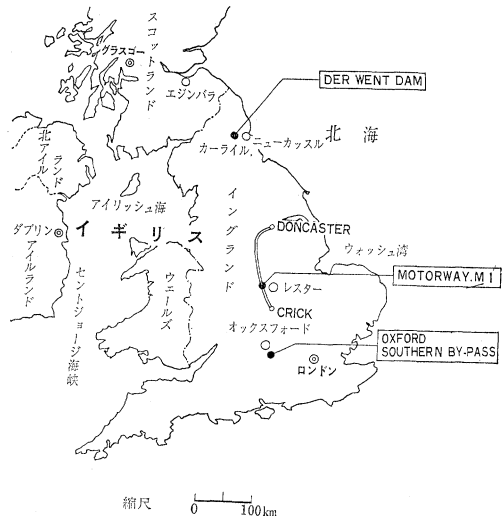
砂質土：含水比=8%，ゆるい状態，Air void=20%  
砂質粘土：含水比=19%，十分締まっている，Air void=0%

のようになり、上述の点をよく示している。

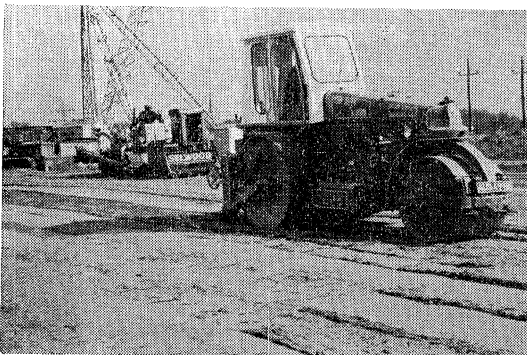
しかし、ときとして誤った見解から、air void の仕様書は、非常に湿潤な材料の使用を奨励するものだとし、請負業者は、締固めに関しては、天候が悪いほうが仕様書に合致しやすいので、歓迎するのだとの説がある。そこで、1955 年に Road Research Laboratory が、最初に、air void の思想を発表した当時のことをふりかえってみたいと思う。

第一の問題点は、締固めを行なうための施工含水量を、仕様することであった。Road Research Laboratory では、この含水量として、“Equilibrium moisture content”をとるのがよいとした。これは、それぞれの土がおかれている状態によって、平衡状態に達する含水量

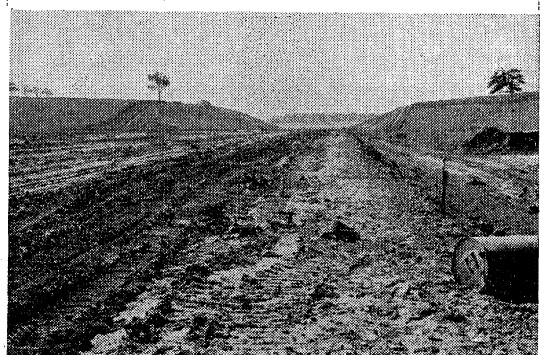
建設現場位置図



**Oxford** 盛土の締固め・鉄道をまたぐ跨線橋の取付部。架橋期日が決定されたので、セレクト材を搬入して、昼夜兼行で施行した。



**Motorway, M.1** 切土部・のり方の上には、排水用の暗きょがみえる。さらにその上にみえるのは Fence で、イギリスの道路に必ずみられる風物である。



で、締固めの状態、地下水位、その他の要因に関係する。すなわち実験室内では比較的容易に推定し得るが、現場では関係する要因が多くて、推定は困難である。そこでこれに代るものとして、表層から 3~4ft 以下の、その土の自然含水量をもってするのがよいとされた。

礫を含む材料などで地下水位が高いときには、この考えかたはうまく行かないが、技術者としては、土質調査の結果およびその他の要因を考えてきめるべきである。

いずれにせよ、締固めの施工含水量を仕様するときには、容易に測り得る土の性質のいずれかを参考にすべきである。

Air void 法における第二の問題点は、要求される締固めの状態を、air void の許容最大値として仕様することである。Road Research Laboratory は、この目的のために、既存道路盛土の実験調査を行なった。

表-1 は、この調査結果を要約したもので、高さ 10~25 ft, 施工後 13 年以上経過し、沈下が一応停止したと考えられるもの 7 ヶ所についてのものである。盛土の高さが 30 ft 以下の道路盛土については、締固め程度に対する要求は、安定の問題よりはむしろ沈下の問題によってきまると考えられる。

表-1 の結果を見ると、均一な砂で施工された Farn-

ham 1 ヶ所を除けば、いずれも粘性土で施工された盛土である。このなかで、Hinchley Wood と Polegate が大きい沈下量を示しているが、このいずれも、含水量がそれぞれの土の P.L. (塑性限界)に比較して、かなり高い値を示している。したがって、含水量に関連して強度が十分でなかったために、上層の盛土材料その他による締固めと、沈下を受けやすい条件にあったことが想像される。

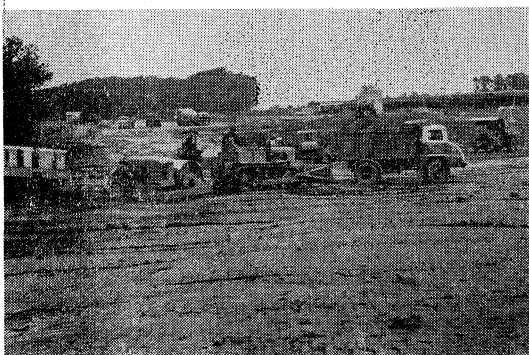
他の箇所では、盛土材料は似たような粘土であるが、含水量はずっと乾燥側で P.L. に近く、沈下も非常に少ない。これらの結果から、施工後の盛土の沈下は、恐らく当初に得られた締固めの程度のみならず、以後の強度と圧縮性にも左右されると考えられる。すなわち、たとえば比較的乾燥側の先行荷重を受けた粘土は、締固めが不十分でも、含水量の高い粘土をよく締固めた盛土より少ない沈下量しかさきぬことも可能であろう。

以上から、盛土の締固めの規定には、用土の自然含水量における強度と圧縮性に、なんらかの形で言及しておくことが必要であり、P.L. に近い含水量の粘土については、沈下量を無視し得る程度におさえるためには、締固め状態として、Air void が 10% 程度以下に対応するものであればよいと考えられる。

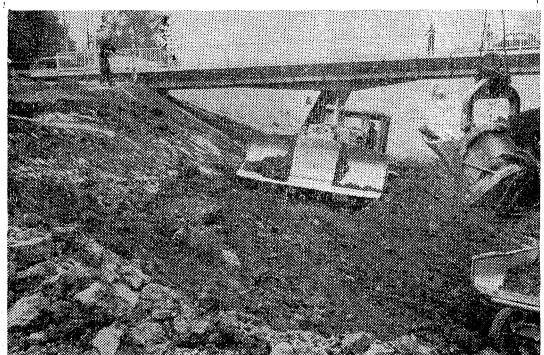
表-1 盛土調査結果の要約

箇所名	(1) Hinchley Wood	(2) Eashing Bridge	(3) Polegate	(4) Cuckmere	(5) Crawley	(6) Farnham	(7) Lancing Brook
施工時期	1926	1930	1934	1937	1937	1940	1947
交通量	きわめて重交通	重交通	重交通	重交通	重交通	重交通	中位
盛土高(ft)	20	25	25	10	20	10	15
土の分類(Casagrandi)	CI	CL	CH	CH	CH	SU=	CH
L.L.の平均(%)	46	27	64	52	59	N.P.	54
P.L.の平均(%)	19	16	25	21	25	N.P.	21
比重の平均	2.72	2.72	2.72	2.70	2.75	2.73	2.73
含水量の平均(%)	27	17	28	22	25	8	24
乾燥密度の平均(lb/cu.ft)	98	110	95	95	94	126	94
air voidsの平均(%)	0	6	1	10	8	10	9
施工後の道路の推定沈下量(in)	3	0	6	0	1	0	0

Motorway, M.1 インターチェンジ付近の谷部の盛土。



Motorway, M.1 切土部ののりの成形・右手前はショベルで、土をダンプに積んでいる。積まれた土は約 4 km 南の盛土部に運ばれる。



施工含水量の目安を (P.L.+2)% とし、air void として 10% 以下を許容する現在のイギリスの仕様書は、これらの結果つくられて、現場の実績に裏打ちされてきたもので、表層 2 ft については、増強するために air void 5% 以下となっているようである。

#### 4. Air void 法に対する批判

批判の一つは、土粒子の比重の測定における誤差が、air void の計算に入るとのことである。しかし、イギリスにおいては、比重の測定に  $\pm 0.05$  の誤差を生ずることは普通ないという。仮に、 $\pm 0.05$  の誤差があったとしても、air void の差は  $\pm 1 \sim 1-1/2\%$  程度で、乾燥密度より一般に小さい。

普通は工事の最初だけ少数の比重を測っておけばよく一般に下の数値を用いてもほとんど差しつかえない。

clean sand と gravel	2.60
clay sand, clay gravel	2.65
sandy clay, silty clay	2.70
heavy clay	2.75

今日では、イギリス国内の土工において、air void の思想は、実に徹底しており、土の粒度、含水量等にはおおかまいなしに、すべての土および盛土は、上述の標準に締固めねばならないかの感を与えるほど強い。ここに、air void に対する第二の批判があると思う。

すなわち、粒度の悪い材料（たとえば、粒度の均一な細砂および粉碎された fuelash、いちじるしく先行荷重を受けた粘土または、けつ岩、および砂岩）などは、“Equilibrium moisture content” において、10% 以下の air void になるように締固めることは、普通困難であるといわれている。

しかし、最初に述べた Oxford Southern By-Pass の工事現場においても、滞在していた約 60日 のほとんど毎日、air void の測定結果にのみ神経が使われていた感が深く、含水量については多少気を使っていたが、粒度

については、ほとんど気を使っていなかったように思う。

#### 5. 土工の締固めに関する仕様書

Ministry of Transport の Specification for Road and Bridge Works には、土工の締固めについて、以下のように規定されている。

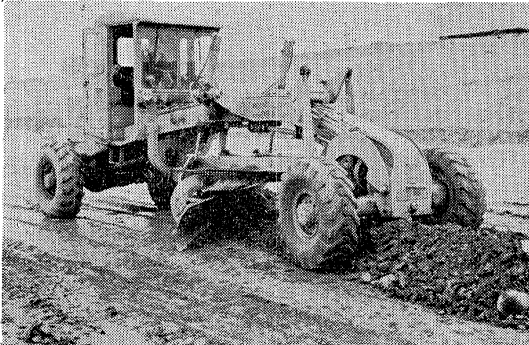
土工に用いられる盛土材料は、発注者の承認を受けた機械を用いて、仕様書の通り締固めなければならない。

請負業者は、盛土材料の主な種類ごとに、締固め機械、締固め回数、まき出し厚さを含む施工方案を提出して、承認を受けるものとする。請負業者は、自己の施工方案にしたがって締固め試験を行ない、締固めに関する仕様書の規定が満足されることを示さねばならない。工事に予想される主な土の種類を用いた締固め試験は、それぞれの種類の土の施工が開始される前に、終了しておかねばならない。

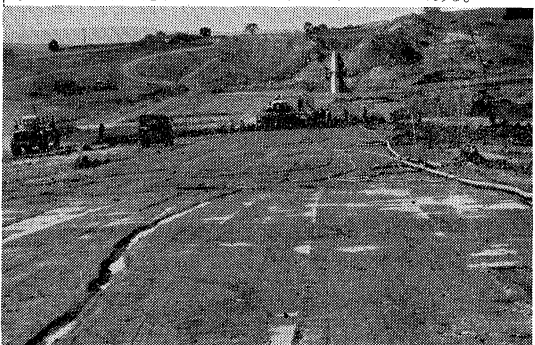
盛土における塑性土の締固めは、掘削された後に、できるだけはやく、しかも含水量がその土の (P.L.+2)% 以下のときにのみ行なうものとする。掘削時に含水量が上述の値よりも高い塑性土は、発注者の指示がとくにないかぎり、請負業者が自分で準備した所に捨土するものとする。もしも、請負業者の不注意のために、適当な塑性土の含水量を、締固めに不適当な高さにしてしまったときには、請負業者は自分の責任において、材料が十分に乾いて、再び適当な材料となるまで待つか、あるいは、そのような材料は捨土して、同じ量の盛土に適する材料を準備せねばならない。

盛土における非塑性土 (non-plastic) の締固めは、含水量がその材料の切土掘削、または土取場における含水量を基準として、乾燥側 2% と湿潤側 1% との範囲にあるときにのみ行なう。基準の含水量は、掘削箇所自由水面を地下水面として、それよりも少なくとも 1 ft 以上高い位置の試料によって決定する。しかし、もしも技術者

**Motorway, M.1** 切土部・路盤工の前の路床面の成形。少なくとも 6 インチ程度の土の層を、路盤施工の直前まで残して、含水量の変動を少なくしている。



**Derwent Dam** 土量約 200 万  $m^3$  の Zone type の土えん堤・中央部の clay cone、その両側の sandy clay の範囲がみえる。パイプは、clay cone の締固めに、散水するためである。前面の水たまりは雨水である。左側を走っているのはモータースクレーパーである。



(発注者側)の判断の結果、上述の含水量の規準では、十分な締固めが確保できないと考えられる非塑性の材料については、標準突固め試験の最適含水比と、その3%乾燥側との範囲の施工含水量についてのみ、締固めを実施させてもよい。

もしも、掘削時に湿りすぎているか、乾きすぎているため、十分な締固めが困難と考えられる非塑性土に対して、発注者が、含水量の低減あるいは増加を命ずるときには、設計変更 (Variation of the Works) として処理する。すべて、含水量の調整は、仕様された含水量が締固めの間、均一に保たれるように行なう。

もしも、請負業者の不注意のために、適当な非塑性土の含水量を、掘削後に締固めに不適当な値にさせたときには、請負業者は含水量を増加、または低減させて前述の値にするか、あるいは発注者の指示があれば、捨土して、締固めに適する同じ量の別の材料を準備しなければならない。

締固め作業は、盛土全体 (とくに盛土ののり面および構造物との接続部を含めて) にわたって、以下の締固め状態になるまで続行する。すなわち、締固められた盛土より採取された、いずれの連続10個の試料についても、少なくとも9個は、その試料の含水量において、下記の空げき量以下になるような乾燥密度でなければならない。

④ 施工基面以下 2 ft の表層については、許容し得る空げき量の最大値は5%である。

⑤ 上記の 2 ft 以下については、許容し得る空げき量の最大値は10%である。

もしも、非塑性土の場合に、締固めの完了と締固め状態の測定時期との間に、土が乾燥した場合には、空げき量の計算に用いる含水量は、その種の土に対して、すでに仕様した締固めの含水量の平均値とする。

ロックフィルとして盛土を施工するときは、各層は、3 t 以上の被けん引振動ローラか、自重 13 t 以上のグリッドローラか、その他の承認された機械で8回以上、組織的に締固めるものとする。しかし、岩質であっても、普通土に対する規定によって締固め得ることが明白な場合には、その規定で締固めるものとする。

## 6. あとがき

締固めの仕様書については、おもしろい思い出がある。ご承知のように、現在イギリスでは、Motorwayを含めて国内の幹線道路網の整備に鋭意努力中である。道路土工の現場研修という私のスケジュールのために、Ministry of Transport が用意してくれた現場の一つは、Motorway M.1. のうちの、Crick-Doncaster 間の現場であった。この区間の延長は、約 40 mile であるが、13

の contracts に分割され、各 contract の施工は、consulting firm によって管理されていた。consulting firm は、個々の contract を総轄するため、中央に Site control office を有し、その Resident Engineer が、Ministry of Transport に代って管理業務を実施しているわけである。したがって、請負業者は工事に用いる材料、施工法等については、すべて contract office を通じて、Resident Engineer の承認を受けねばならない。

M.1. では、私は consulting firm に配属され、Site control office をねじろとして、contract office を見て歩いた。たまたま、G という contract にいたとき、請負業者から Resident Engineer へあてた書類の中に、試験盛土の計画に関するものを発見した。

すでに述べたとおり、イギリスの土工における締固めの仕様書は、盛土の表層 2 ft およびそれ以下にわけて、最終結果が air void で5% および10% 以下になることを要求している。したがって、最終結果の仕様が満足されるなら、施工含水量に注意を要するとしても過程はさほど問題ではない。請負業者のいい分は、この最終結果を強調して、過程の個々の層は必ずしも仕様書どおりになっていなくとも、上層の盛土材料の荷重で、仕様の air void に終極に達するというものであった。

この件に対する決着は、かかる最終結果を適確に判定する方法がないという Resident Engineer の判断によって、却下されたと聞いている。

以上は一つの思い出であるが、一つの仕様書の文章についてもこのような解釈も成立つわけであり、また内容についても、絶対真実のものでもないであろう。捨土限界にしても、(P.L.+2)% を基準にしたのでは実際上少しきびし過ぎて不経済でないかとの意見もあり、M.1. の中でも北寄りの contract では、(P.L.+4)% を採用していた。この数値については、現地材料に応じてスライドさせる方式を、つぎの仕様書の改訂時には考えるようである。

このように、イギリスの仕様書は、Ministry of Transport を中心に、Road Research Laboratory, consulting firm, 請負業者, 材料供給業者, その他の協力によって、実績をとり入れて改訂されながら、しかも権威をもって用いられている。この辺に一つの特長があるのではなからうかと思う。

## 参考文献

- 1) M.O.T. Specification for Road and Bridge Works, 1963 H.M.S.O.
- 2) Road Research Laboratory: Further Studies in the Compaction of Soil and the Performance of Compaction Plant.
- 3) W.A. Lewis: Paper on Compaction of Soil and Road Bases.