

サンド ドレーン工法の応用例

“Sand Drain Application by the Port of New York Authority”

By John M. Kyle and Martin S. Kapp

Proc. of ASCE, Vol. 80 Sep. No. 456 June 1954

New Jersey の Newark Airport では、空輪の増加にともなつて新たに滑走路を作ることになった。同空港は Newark Bay の西の tidal marsh にあり、新たに建設する地域の大部分は平均高潮位以下にある代表的な marshland deposit であつた。土質は図-1 に示す通りまず非常に軟い圧縮性の peat と organic silt の層があり、その下には、比較的非圧縮性の砂と inorganic silt と varved clay との層があつて地表下約 65' に岩盤がある。滑走路を設計高にするためには最小 10' の盛土が必要であつたが、その付近における従来の経験では何も安定工法を施さない marshland に盛土を作ると相当な不等沈下を生じ、その強度は滑走路等には許されないものであつた。従つて設計に当つてはこの軟弱で安定工法を施されていない marshland に少なくとも 10' の盛土を支えることと、施工後滑走路の沈下を防ぐことの二つが問題となつたが、さらに滑走路使用開始の期日が定められてあつたために、時間の問題の保証もせねばならなかつた。

ボーリングで採取した organic silt の物理的性質は、

自然含水比 (%)	60~110
初期間隙比	2.6~4.6
L.L.	93
P.L.	55

図-1

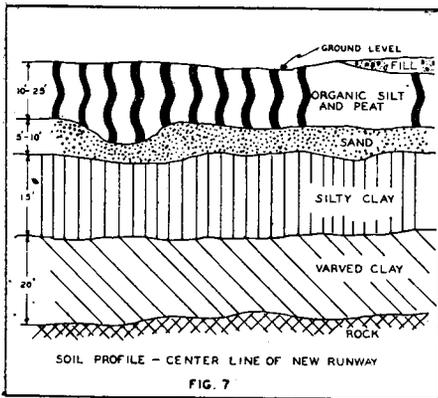


FIG. 7

水平鉛直透水係数比	1 : 1~2 : 1
単軸圧縮強度 (t/#)	0.1~0.3
粒度分布 (百分過率)	(0.06 mm 90)
	(0.02 mm 70)
	(0.002 mm 30)

圧縮性の土の下にある砂は相当に silt を含んでいるので排水面としては、不適当であり、この場合には organic silt は敷砂と接する上面のみで排水されると考えられた。

施工法として最初に軟弱土の置換え、盛土のみによる圧密、さらに滑走路を杭で支える方法等が考えられたがいずれも工費や時間の問題で採用されず、サンドドレーンと盛土による圧密工法が採用された。この場合に余つた盛土は滑走路の路肩や側面勾配を作るために無駄なく使えるので経済的であつた。施工過程は

1. 滑走路と付属車道を作る地域に特に porous な材料を選んで敷砂をする。
2. closed mandrel によつて敷砂、peat 及び organic silt を貫いて下の砂層まで径 20' のサンドドレーンを設ける。
3. 敷砂の中に porous drain pipe を設け、その端を滑走路の側に沿つた排水溝に持つてくる。
4. 必要な盛土と余盛 (合計 1200 lb/#) を一定撤厚で盛る。
5. 圧密が起り、ピエゾメーターと沈下板の観測の結果からそれ以上に実際上の沈下が生じなければ、余盛りを側に移して路肩と側面勾配を作る。
6. 最後にこの盛土上に舗装をする。

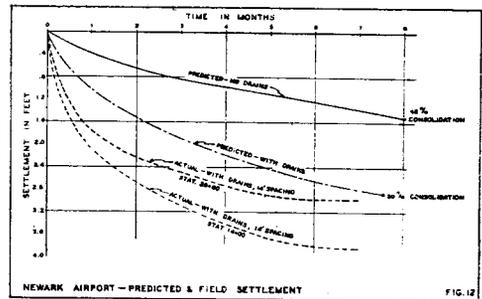
サンドドレーンの中心間距離は、層の厚さと透水性により 10', 12', 14' の3種としたが、結果的にはほとんど差がなかつた。余盛りは6ヶ月後に取除いた。

図-2 は時間と沈下量につき計算値と実測値を示している。図-3 は圧密前後の土の含水比を示す。

滑走路及び付属車道の工事は 1952 年 11 月から始められているが、沈下も横移動もともに生じていない。

以上は The Port of New York Authority によつて行われた Newark Airport におけるサンドドレ

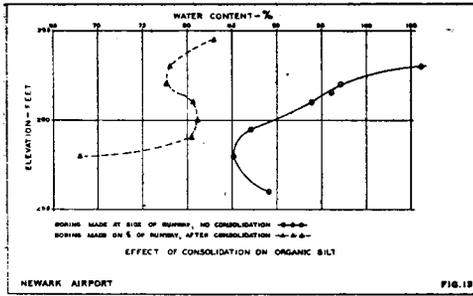
図-2



NEWARK AIRPORT - PREDICTED & FIELD SETTLEMENT

FIG. 12

図-3



一の応用例の概略であるがこのほかに サンド ドレーン工法の応用例としては同じく Port Authority によつて行われた La Guardia Airport, Port Newark, Hoboken Piers 等の工事が報告されている。

La Guardia Airport では高潮防止のために organic silt と ash fill の上に堤防を作ったとき土の強化と圧密促進のために同工法を用いて盛土に成功し、Port Newark では新設倉庫等の建築物基礎及びその盛土工事において同工法により安全に施工でき、かつ 1 ft² 当り 1.74 ドルの工費を節約した。

さらに Hoboken Piers では新設する Cofferdam の安定問題に際して、土を圧密強化するために Cofferdam の内外の土にサンド ドレーンを設けた。

以上の工事においては サンド ドレーン工法が安全性、時間、工費等の点で、優秀であつたとされているが、New York International Airport の格納庫の基礎工事においては圧縮性の土が薄く、かつその上下に排水性良好な土があつたために サンド ドレーンを用いず盛土荷重のみで圧密を行つたことを報告し、そして必要の無い場合に同工法を用いていたづらに工費を増すことを戒めている。(東大大学院 中瀬明男)

最近の土質調査法

'Modern Procedures for Underground Investigations'

By G.F. Sowers

Proc. ASCE. Vol. 80, Sep. No. 435, May 1954

1. 概説 土質調査はどんな構造物を作る際にも必ず必要になるが、いつも一定の方法をとればよいというものではなく、設計上どんな点が土に関して問題となつているかを知つて、それに適当な方法をえらばなければならない。完全な土質調査に必要な項目をあげれば、

1. 土の性質(地質学的なもの及び最近における掘削、埋立、洪水の記録等)
2. 各土層の深さ、厚さ、構成

3. 地下水面の位置

4. 岩盤までの深さ及び岩の構成

5. 構造物設計上問題となる土や岩の工学的性質

ところでボーリング、その他の調査方法は近年非常に発達しているから、合理的な方法を採用するようにする。調査費は米国の例によると大体次のとおりである。

表-1 米国の土質調査費*

建築物・工場	0.03~0.1 (全工費の%)	土質調査は3つの段階に分けて考えることができる。すなわち、
ダ ム	0.1~0.5	探査 (Reconnaissance),
道 路	0.05~0.1	調査 (Exploration),
橋 梁	0.1~0.2	実験室での試験 (Laboratory Tests) である。これら3つの段階全部を必要とする場合もあるし、適当に省略しうる場合もある。調査方針は最初広い範囲について進め、問題となる点がどこにあるかを見出した後はそこに重点をおいた調査を行うようにする。

*わが国は地層の変化が多いからこれより多くなる。

2. 探査 (Reconnaissance) 探査には土の性質の判定と、土や岩の状態の推定とが含まれる。この段階では速度と経済とがもつとも大切で、既存の資料と踏査に多く依存しなければならない。このほか、弾性波あるいは電気による地下探査も地下水面、岩盤の深さ等の推定に有効で、ときには土の層も推定できることもある。これらの探査は、第一にその場所が構造物に適しているかどうか、また問題となる点はどんなことを示し、第二にその後に行われる土質調査にどんな方法をとるべきであるかを示すのに役立つ。

3. 調査 (Exploration) 土質調査の目的は各土層、各岩盤の深さ、厚さ、性質、地下水位を正確に決定することである。ほとんどの場合“試錐”(Test Boring)を行う。

ボーリングの深さ、間隔は土の一樣性と、構造物の特性により決つてくるが、合理的な決定は幾つかボーリングが完了してからでないといふ不便がある。一応の標準は次のごときものである。

表-2 ボーリング間隔

工 事	一樣な成層土	普通 の 土	不規則な土
道 路	1 000 ft	500~1 000 ft	100 ft
アースダム	200	100	25~50
土 取 場	500	200	50~100
高層建築	100	50	25
一階の建築	200	100	25~50

簡単な方法に、各階またはそれに相当する荷重に対し 10 ft づつというのがある。

試錐は二つのべつべつの作業から成り“試掘”(Drilling)で地層を判別し、“試料”採取で土を判別

表-3 ポーリングの深さ

建物の巾	階数 (代表的な事量所建築)				
	1	2	4	8	16
100 ft	11	20	33	53	79 ft
200	12	22	41	68	108
400	12	23	45	81	136

したり, 工学的性質の概略を示すための試料を取る。広く使用されている方法は次のごときものである。

表-4 土質調査に適当な試掘方法

方法	適用	土の乱れ	地層の判別
オーガー	地下水位上のすべての土 (礫を除く)	少ない	非常に優秀
動力オーガー	同上 (大きい礫を除く)	少ない	良または可
Wash boring	すべての土 (礫を除く)	少ない (乾燥砂を除く)	良
Rotary drilling	すべての土 (礫を除く)	少ない (乾燥砂を除く)	可 (速すぎる)
Percussion well drilling	すべての土	多分相当大きい	可
コア、チューブ	すべての土 (大きい礫を除く)	少ない (Sensitive or looseな砂を除く)	優 (コアが短い場合)

なおポーリング孔の陥落を防ぐため, 粘土水により圧力を与えて防止する方法も有効である。

また調査用試料採取機として最も広く使用されているものは Split Tube の厚肉サンプラーで, 貫入試験も同時に行うことができる。種々の型式があるが, 標準としては内径 1.4~1.5 in, 外径 2 in のものがよい。これで貫入試験を行う際はまづ孔の底にサンプラーを 6 in 打込み, 次にこれを 140 lbs の重錘で 30 in の高さから落して, さらに 1 ft 打込むに要する打撃数による。この方法は数多く実施されているため, 土の強度, 密度等の推定ができるので設計上有効である。

4. 詳細な調査 もし土の状態が安全で経済的な設計にはさらに詳細な資料を必要とする場合は最後の段階のさらに詳細な調査を行うことになる。これには乱されぬ土の採取と, 実験室における試験を組み合わせるか, または地中にあるままの状態の土を現場で試験するかによつて行うことができる。

乱されぬ土の採取方法は 表-5 のごときものがある。

表-5 乱されぬ土の採取方法

サンプラー	大きさ	掘削方法	利点	欠点
薄肉チューブ	2-1/2 - 5 in	静的	簡単, 安価	硬い土には押込み困難, 非常に軟弱な土では悪い試料しか取れない
薄肉ピストン	2-1/2 - 5 in	静的	試料を幾分失うが軟弱土に有利	使用がむづかしい
回転二重管	2-1/2 - 6 in	回転切削及静的圧力	非常に固い土の試料	高価, 軟弱土を乱す

試料採取と試験とは表裏一体のものであるが, この際最も大切な配慮は試料を成形する際に最小の処理で

行うこと, 及び装置や試験方法を土に応じて変えることである。大規模の完全な調査では, 実験室の経費が全体の 1/3~1/2 くらいになるものである。

試験の費用を少なくするため, 試験結果と簡単な試験を対応することが適当で, 例えば粘土の単純圧縮強度と貫入抵抗との間には表-6 のごとき関係がある。

表-6 貫入抵抗*と粘土の単純圧縮強度の関係

土	最小	平均	最大
一樣な高い塑性の粘土	0.3 N**	0.5 N	0.7 N
普通の塑性の粘土	0.2 N	0.3 N	0.4 N
低い塑性の粘土, 塑性的シルト, 破壊面を持つ粘土	0.1 N	0.15 N	0.2 N

*単位は kips/ft² (1000 lbs/ft²)

**N は標準スプーンサンプラーの 1 ft 貫入に要する打撃回転 (重錘重量 140 lbs, 荷下高 30 in)

現場試験には平板載荷試験 (ときにはあまり意味ない結果を与える), 円錐貫入試験, Vane shear test 等がある。

(東大工学部 渡辺 隆)

中央分離帯の植樹効果

“Effect of Planting in Median Strip on Night-Visibility Distances”

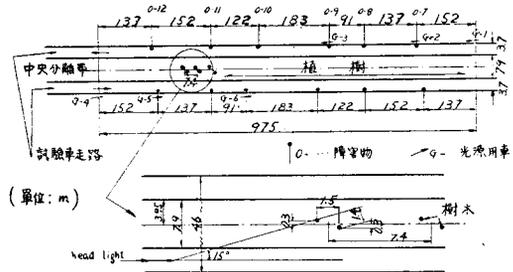
By Edmund R. Ricker, Val J. Roper

Highway Research Board, Bulletin 89, 1954

高速を要求する道路構造の一つとして中央分離帯があるが, この報告では, 中央分離帯が夜間対面交通の head light の影響を軽減する効果を, 植樹によつてさらに増大するために, N.J. Turnpike と Newark 飛行場の滑走路で行われた実験の結果を述べてある。

実験用の道路の状況は図-1 のとおりであつて, 植樹は分離帯の中央に, 道路中心線とある角度をなした 1 組の灌木 (西洋杉, 高さ 1.7 m) をある距離をおいて並べてあり, 対向車線から 15° の角度で投射する head light に対しては, 1.4 m おきの連続した並木となるように考えられている。分離帯の中心に等間隔に植樹する場合にくらべて, この方法では必要樹数を最小ならしめるとともに, 分離帯の芝刈を容易にし,

図-1



表—1 走行中の障害物発見距離 (m)

種 別	観測者	障 害 物												平均
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
植樹あり 〃なし (改善率%)	A	178	165	167	156	160	169	152	153	157	168	159	176	163
		150 (19)	134 (23)	154 (8)	132 (18)	144 (11)	143 (18)	112 (36)	117 (31)	130 (21)	118 (42)	122 (30)	154 (14)	134 (22)
植樹あり 〃なし (改善率%)	B	123	110	98	97	109	118	120	96	109	105	98	116	108
		131 (-6)	132 (-17)	110 (-11)	110 (-12)	94 (16)	119 (-1)	110 (9)	91 (6)	105 (4)	92 (14)	89 (10)	125 (-7)	109 (-1)
植樹あり 〃なし (改善率%)	C	127	125	132	116	120	137	120	112	128	134	140	135	127
		109 (17)	116 (8)	124 (6)	103 (13)	113 (6)	113 (21)	88 (36)	96 (17)	104 (23)	92 (46)	112 (25)	113 (20)	117 (9)
植樹あり 〃なし (改善率%)	D	119	114	113	99	105	109	104	101	112	110	107	124	110
		118 (1)	101 (13)	105 (8)	90 (10)	91 (15)	94 (16)	95 (9)	78 (30)	99 (13)	86 (28)	100 (7)	106 (17)	97 (13)
植樹あり 〃なし (改善率%)	E	152	169	164	172	145	155	159	149	162	165	156	169	160
		158 (-4)	151 (12)	152 (8)	143 (20)	120 (21)	132 (17)	125 (22)	125 (19)	132 (23)	122 (35)	122 (28)	156 (8)	137 (17)
植樹あり 〃なし (改善率%)	F	152	149	152	143	118	135	131	128	147	131	142	143	139
		138 (10)	134 (11)	120 (27)	122 (17)	112 (5)	122 (11)	117 (12)	97 (32)	117 (26)	110 (19)	109 (30)	146 (-2)	115 (21)
植樹あり 〃なし (改善率%)	観測者 Bを除く 平均	145	144	146	137	130	142	133	128	141	142	141	149	—
		134 (8)	127 (13)	131 (11)	118 (16)	116 (12)	121 (17)	108 (23)	102 (25)	116 (22)	106 (34)	113 (25)	135 (10)	—

また light も比較的漏れにくい。

実験は図—1 に示す各障害物について、その発見位置からの距離を 6 人の test driver (観測者) によって求めたもので、その結果は表—1 に示すとおりである(各人 6 回以上走行)。表—1 に見るように、植樹の効果は観測者の個人差によつて、大巾に変化しているが、一般的に相当の効果が認められる。

また対向車線からくる光束の照度を、障害物の発見位置で測定した結果は、植樹の場合最高 0.64 lux、何もない場合最高 4.99 lux と大きな差が出ており、運転者の疲労軽減に有効であろう。しかし道路の構造上の問題として、植樹の欠点も二、三指摘されている。すなわち積雪地方では、樹木のために路上積雪が多くなるとともに除雪に困難をきたすこと、樹木の手入に相当の経費を要すること等である。

(建設省道路局 渡辺修自)

San Marcos Bridge 設計と架設

“Cable-Truss” Design Greatly Increases Stiffness”

by Norman J. Sollenberger

Civil Engineering Sept. 1954 p. 40~52

中央アメリカの、大平洋岸にある El Salvador の Lampa 河に架設された San Marcos Bridge に関するシンポジウムから特に構造関係を主としてその概略を紹介する。この橋梁の変つた点は、死荷重に対しては吊橋であり、活荷重に対しては引張材のみからできて

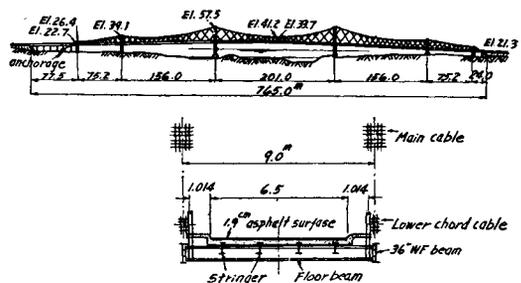
いる連続トラス、とみなしうることであつて、Tacoma Narrows Bridge の失敗を再びくり返さずにかかも経済的に吊橋を架けるべく種々の方法が研究されたがこの橋はその一つの成果と見るべきものである。

いくつかの模型実験および実験的な歩道橋や管路橋が架けられた後に、ケーブル補剛吊橋のアイデアを適用してこの画期的な橋梁が出現したのであるが、その際にはこの橋の設計架設に貢献した John A. Roebling's Sons Corp. 関係者の伝統的な努力が認められる。

この橋はとにかく不便な土地に架けられたのであるから単なる技術上の問題のほか種々厄介な条件があつたらしく気候風土の事情や労務者の問題等が挙げられている。

床部構造は 36" の Wide Flange Beam の枠の中に Stringer と Floor Beam を組み込んだ格子に R. C. Slab を取付けたもので橋梁全長にわたり連続して

図—1



いてサスペンダーは棒に取付けられている。主構造をなす Cable Truss とはちようど prestressed concrete の考え方を逆にしたようなもので、死荷重による引張力 (pre tension) を受けている吊橋の主ケーブルが活荷重によるその大きさの圧縮力までは耐えうると云うことを利用してこれを上弦材として構成したトラスである。しかもケーブルの場合たとえ圧縮力が pre tension を超えて挫屈に相当する現象を起してもそれはケーブルが弛緩するだけで構造物全体の崩壊を意味しない。腹材に相当するサスペンダーも pre tension を加えて圧縮材として使うことができる。

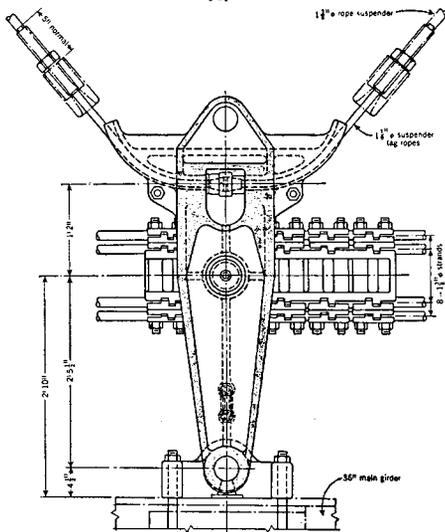
このようなトラスの解析はかなり困難であるため、模型実験によつて剛性を確かめるために、このタイプと普通の補剛桁を有するタイプの2種の模型を作り、普通型の補剛桁を次第に変えてみて、両者のたわみや振動周波数が等しくなつたときの普通型の剛性をもつてそれとみなす方法を取り、ケーブルトラスの補剛性がきわめて優秀であることを確認している。設計荷重は AASHO H 15-S 12-44 を採用し各部材断面は表-1 のようになつた。detail の中で注目すべき点は斜材ケーブルと下ケーブル及び床構との取付構造である。

この連結器はただ1個で構造上要求されるすべての機能を果している。すなわち単なる部材連結のほかにこの橋においては、架設の際 prestress するためのやりくりを必要とするので、各部材の連結点は調整が

表-1

部材	ケーブルの本数	1本の直径	備考
上弦材	24	1 1/2"	galvanized bridge strand
下弦材	3	1 3/8"	"
斜材	1または2	1 3/8"	galvanized bridge rope

図-2



利くように設計してあるわけである。架設に際しては 95°F の温度条件で死荷重及び活荷重の 1/3 を全 span に載荷したとき正規の形になるように調整した。現場で適当な調節を行わない限り懸垂点からケーブルトラスに伝達される鉛直荷重の分布を求めることは不静定の問題になるが床に正規のキャンパーを与え、懸垂点の tension link が垂直になるように調整するまでは下弦ケーブルのクランプをゆるめておくようにすれば懸垂点における鉛直荷重と斜ケーブルとの釣合いを静力学的に求めることができる。

上弦ケーブルとの取付点は最初ケーブルの形を放物線と仮定して斜材ケーブルの傾斜を決め、これにもとづいて取付位置を再び計算し傾斜の補正を行う。実用的には3回のトライアルで十分な精度が得られた。下弦ケーブルはすべての調整が終了した後に、床部 R.C. Slab にアンカーされる。

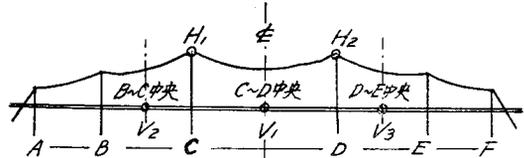
この橋は非常に rigid であるため全然補助補剛構造を必要とせずまた支塔はロッカー支承とすることができた。橋梁の完成後 El Salvador 政府の補助を受けて荷重試験が行はれたがその結果を要約すると次のようになる。試験荷重は total weight 16.6t のトラック 64 台である。

表-2

載荷区間	換算荷重量	たわみ				
		垂	直	水 平		
		V ₁	V ₂	V ₃	H ₁	H ₂
A~F	0.870 t/m (全活荷重の60%)	cm	cm	cm	-	-
B~C	1.500 t/m (全活荷重の104%)	58.4	62.5	60.5	13.5	11.4
D~E						
C~D	1.313 t/m (全活荷重の91%)	88.3	43.7	39.7	14.5	15.2
B~C	0.620 t/m (全活荷重の43%)					
D~E						
予想たわみ量 (最も不利な荷重状態に対する)		124.4			20.3	

矢印は図-3 に対応してたわみの方向を示す。

図-3



吊橋において最も重要な空気力学的安定性については慎重な処置がとられ、歩道と 36" WF Beam との間に 12" のすき間を開けたりしている。振動の問題に対しては span 割りの決定の際共振を防止すべく注意が払われている。

この橋はすでに約2年間交通に供されているが 16t のトラックが通つてもたわみや振動は非常に少ないからケーブルトラスの優秀なることは少なくともこの程度の橋梁に関する限り立証されたと云える。

(早大理工学部 堀井健一郎)