

文献調査委員会

P C 鋼材にグラウトを行わない P C ワッフル
 スラブの挙動 *Jour. of A.C.I./* 満木 泰郎
 加速度計を用いた海底地盤調査法
Proc. of A.S.C.E., SM/ 佐々木 康
 風波を受ける構造物の模型試験
Proc. of A.S.C.E., WW/ 木原 力
 分流式下水道への雨水の流入防止
Jour. of W.P.C.F./ 藤田 昌一

PC 鋼材にグラウトを行わない
 PC ワッフルスラブの挙動

“Behavior of Prestressed Concrete Waffle
 Slab with Unbounded Tendons”
 Muspratt, M.A.

Jour. of American Concrete Institute, Vol. 66, No. 12,
 pp. 1001~1004, December (1969)

Lin のロードバランス法により設計した単純支持のプレ
 ストレスト コンクリート ワッフルスラブ(2方向版)
 の試験報告である(ワッフルスラブとは、ワッフルケ
 キを逆にしたような構造の版、すなわち格子桁と板とを
 組合せたもので、プレストレスは格子部分に導入する)。

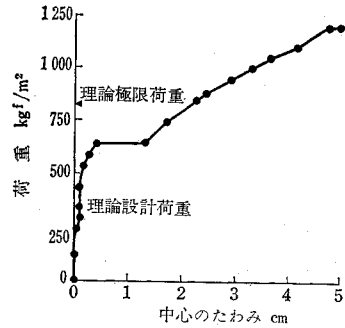
試験したワッフルスラブの大きさは、一辺が 4.57 m
 の正方形の版で、0.457 m ごとに単線の P C 鋼棒をも
 つリブがついている。

試験は長期載荷試験を行ない、たわみ、応力、ひずみ
 を測定し、構造物の耐用年限内のたわみ、応力、ひずみ
 の経時変化を予想しようとした。経時変形の解析にあた
 っては、粘弾性を考慮に入れた。これに対しては多くの
 理論式が提案されているが、精度を上げるため、わずかに
 複雑ではあるが、新しい式を提案使用した。また非線
 形の回帰解析も使用した。

Rozvany は、P C 鋼材のグラウトを行わない P C
 構造物が地震荷重をうけた場合についての実験を曲げを
 うける一方向版を用いて行ない、設計荷重以上の荷重を
 うけると耐力が急激に減少し、補強筋があるにもかかわらず、
 ぜい性破壊を行なうことを示した。ここでは、グ
 ラウトを行わない方向版について、その挙動を比較し
 た。構造物の耐力の損失を示すパラメーターとして、中
 心のたわみと P C 鋼材の荷重をえらび、動的に記録し
 た。

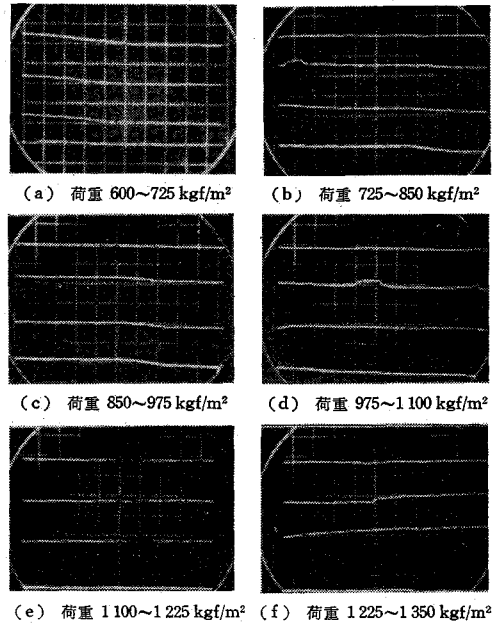
荷重と版の中心のたわみとの関係を 図-1 に示した
 が、負の勾配の所はない、これは鋼材がきわめて少しで
 はあるが加工硬化をすることにより部材に圧縮力が加わ

図-1 PC ワッフルスラブの荷重と中心の
 たわみの関係—短期試験—



るため、曲げひびわれや初期降伏の後の耐力が増加する
 ためであると考えられる。図-2 に P C 鋼材の荷重を
 示したもので、曲げひびわれが入ったとき、荷重がわず
 かに損失したことを示しているが、これはスラブが非対
 称であるためにおこるモーメントの再分配によるものと
 考えられる。

図-2 PC スラブの試験中の動ひずみ



スケール：たて 1 div./ 100×10^{-6} ストレイン
 よこ 1 div./50 sec. 載荷速度は一定

荷重を記録した鋼材はスラブの中心から片側の 4 つの
 鋼材である。上から 2 番目のトレースでは 70 秒間に
 20×10^{-6} mm/mm の荷重損失があったが、最初の載荷
 では 385×10^{-6} mm/mm がおこった、これにより約 5
 % の荷重損失があった。スラブの最大分布荷重は 1200
 kg/m² でこの点で鋼材は破断した。この荷重でシリーズ
 1 の鋼材は 575×10^{-6} mm/mm を示した。これは 3260
 kg の荷重に相当する。平均鋼材極限荷重は 3220 kg で

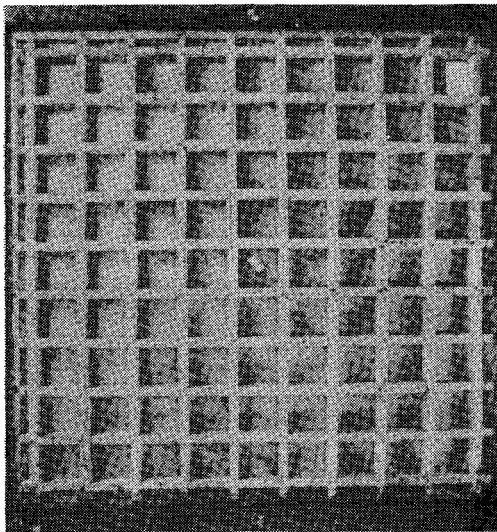
あるので、スラブ中心の鋼材は破壊に近づいている。

鋼材にグラウトを行っていない鋼材の力は曲げ破壊の初期の段階では十分増加しないので、破壊応力係数がコンクリートの引張面でおこり、急激な破壊が生ずるまでは、応力はそれ以上の外力に抵抗するため、コンクリート内で再分配される。しかし、鋼材にグラウトをしておくと、鋼材の引張力が大きくなり破壊する。

Rozvany はグラウトを行っていない P C T はりの極限荷重の損失を理論的に示した。これによると、 $F_A/F_r < 1.5$ ならば曲げによる急激な破壊がおこり $F_A/F_r \ll 1.5$ ならば全く災害的に破壊がおこることを示した (F_A —プレストレスによる応力, F_r —破壊係数, 試験したスラブは 0.22)。しかし、2 方向曲げ部材ではひびわれの入っていない部分の残留剛性がこれをさまたげるため上記の理論はあてはまらないものと考えられる。

図-3 は降伏線の写真である。ひびわれはリブに沿っておこっている。斜めひびわれがねじりせん断力に弱い T 部材からおこる。リブのひびわれは自然に結合部に伸びて行く、ねじりせん断力は多量の鉄筋を用いれば小さく制限できる。ワッフルスラブに作用するせん断力は、スラブ厚が比較的うすくとも、格子桁の少なくとも 75% である。

図-3 P C ワッフルスラブの降伏線



降伏前に最大設計荷重に達し、スラブが破壊するのはせん断により破壊するため、実際の破壊荷重は設計値の 80% であった。最初のひびわれは降伏荷重の 90% でおこり、このときのたわみは標準値の 1/15 で規格に合格するものである。

これらより、2 方向版では鋼材にグラウトを行なわなくとも設計荷重以上の荷重が作用しても、耐力の減少量は少なく、十分実用できる。しかし、ワッフルスラブの

実施にあたってはねじりせん断の研究が必要である。

(委員 満木 泰郎・訳)

加速度計を用いた海底地盤調査法

“In-Place Ocean Soil Strength by Accelerometer”

Scott, R.F.

Proc. of A.S.C.E., SM, Vol. 96, No. 1,

pp. 199~211, January (1970)

海底地盤の物理的性質、強度などを求めるために各種の方法が用いられているが、サンプリング装置に取付けた加速度計によりサンプラーの海底地盤への貫入時の衝撃を測定し、得られた加速度記録から地盤強度を推定しようという試みがなされている。推定地盤強度とサンプリングされた試料の強度等との比較検証に関する記述はないが、自記加速度計をサンプラーに取付けるという今まで試みられたことのない方法であるので以下に紹介する。

水深の深い海底からのサンプリング装置としてはリードウエイトをつけたコアバレルをケーブルで吊下げ、所定の高さから自由落下せしめて海底地盤に貫入せしめるという方法がとられるのが普通である。ときには自由落下せしめる装置を用いないで重量の軽いサンプラーを貫入せしめることもある。このときのケーブルの吊下げ速度は普通数 ft/sec (1.5~2.0 m/sec) である。加速度計を用いてコアバレルの貫入時の運動を測定するためには自由落下させる方法の方が有利である。自由落下でない場合にはコアバレルが土に貫入するに従って緊張が解除されてついには 0 になるケーブルの張力を別途推定しなければ、貫入中のコアバレルの運動記録から土の貫入抵抗を直接求めることができないからである。

コアバレルが軟い海底地盤に 1.5~6.0 m 貫入する時に土の抵抗により生じる上向きの加速度は 1.5~2.0 g (重力加速度の 1.5~2 倍) で、貫入に要する時間は 1 ないし数秒であることが予備設計の段階で明らかになった。この結果に基づき、加速度計の固有振動数は 5 Hz 以上必要であり、記録紙の送り速度は数 cm/sec を要することが判った。

ここで用いた自記加速度計は写真-1 に示すようにドラムにまきつけた記録紙、ドラムの回転用モーターおよびばねと質量からなる加速度計とで構成されている。これにケーシングをかぶせた全体の大きさは写真-2 に示されたようなものである。固い地盤の場合に大きな衝撃力が生じても良いようばねの剛度は非線形のものを採用した。解析は計算機を用いるのでこの非線形性は大きな障害とはならない。

調査地点では船上の音波探知機によって水深を知り、ウインチの吊下げ速度をも考慮して記録の開始を設定で

写真-1 自記加速度計
(ケーシングをはずした所)

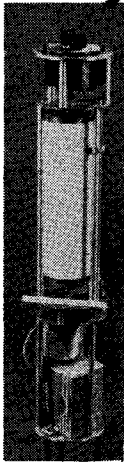


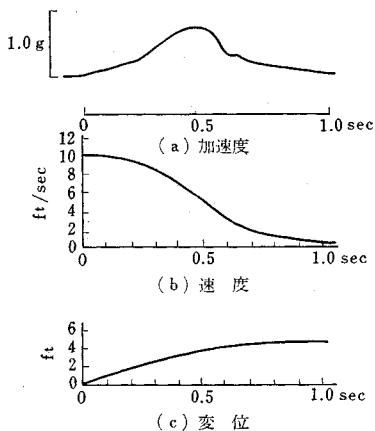
写真-2 ウェイトに取付けた加速度計
(写真中央)



きるようになっていいる。記録時間は総計 15 分で、吊り下げ中、ウインチの輪止め開放、自由落下および衝撃などの記録が含まれる。写真-2 に示したように加速度計をウェイトスタンドの側面に取付けると自由落下の際に偏心荷重として作用するので、後には加速度計はウェイトの中心に取付けるようにした。

図-1 は自由落下でない場合の加速度記録とこれを積分して求めた速度および変位の記録である。これから貫入長さは約 1.5 m であることが判り、回収したコアの長さ約 1.1 m とから回収比を求めることができる。

図-1 自由落下でない場合の記録



自由落下でない場合のコアパレルの運動は、ケーブルが完全にゆるむまでは

$$m\ddot{z} = k(v_i \cdot t - z) - F$$

と表わすことができ、完全にゆるんだ後には

$$m\ddot{z} = mg - F$$

となる。ここに m : パレルの質量, k : ケーブルの剛性, v_i : パレルが貫入する初速, F : 土の抵抗, g : 重力

の加速度である。

したがって、これらの式から z を測定することによって土の抵抗 F をすべての段階について求めることができる。こうして求めた土の抵抗を示したのが 図-2 (a) である。またもし土の抵抗がシンウォールパレルの内外面に作用する土のせん断力に基づくものである場合には土の抵抗をせん断抵抗に書き直すこともできる。

図-3 は自由落下の場合の記録例である。

図-2 貫入抵抗

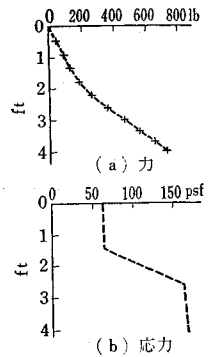
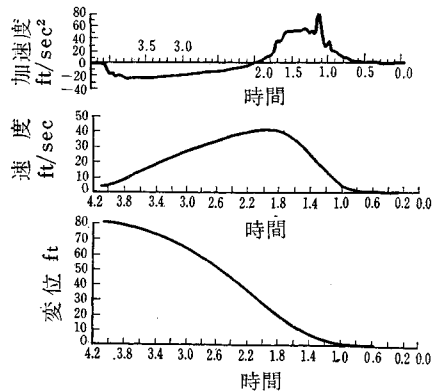


図-3 自由落下の場合の記録例



このような装置を用いることによりサンプリング時にコアが傾いて貫入しないかどうかチェックしたり貫入深さからコアの回収比を求めることができる。またコアパレル以外の貫入 ロッド 等に取り付けて土の貫入抵抗を求め、また若干の仮定を置くことによりその結果から地盤のせん断強度を推定することも可能である。

(委員 佐々木 康・訳)

風波を受ける構造物の模型試験

“Modeling of Structures Subjected to Wind Waves”

Plate, E.J. and Nath, J.H.

Proc. of A.S.C.E., WW, Vol. 95, No. 4, pp. 491~511, November (1969)

(1) 序 論

海洋開発のための構造物が増加するにつれて、設計上の必要性からそれに作用する荷重を正確に知る必要が生じてきた。海洋構造物は陸上のそれと違って荷重は波の作用のため動的である。それゆえ解析的な設計は非常に複雑で、現在周期波に対するごく単純な構造物の応答を

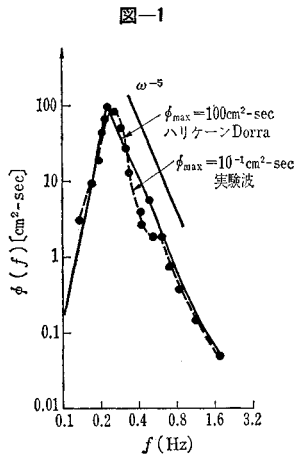
決定する方法ですら正確でない。例えば垂直に立てられた円柱に作用する波圧を決定するには、通常 Morison の式が使われる。この式の質量力係数および抗力係数は実験的に定められなければならない。こうしたことから模型実験により構造物の動的な挙動を研究する必要が起ってきた。

もし構造物の応答性が線型で表わされるなら、実験は規則波を使って行ない、それらを重ね合わせればよいであろう。しかし、大部分の構造物の応答は非線型であるから、模型構造物は現地の強制力に相似な力、すなわち現地に相似なエネルギースペクトルを有する波によって実験されなければならない。

以下に述べるように風洞水路で風の作用のもとに生ぜしめた十分発達した波による実験は、こうした相似性を完全に満たすものである。

(2) 実験風波のスペクトルの相似性

風洞水路で風のみによって起こされた波が現地波に似ていることはすでに多くの人によって発表されている。図-1 はハリケーン Dora と実験波のスペクトルを比較しやすいように実験波をずらして重ね合わせたものである。



周波数軸をスペクトルのピーク $\phi(\omega_{max})$ での周波数 ω_{max} で割って無次元化を図る。よってスペクトル $\phi(\omega)$ は

$$S\left(\frac{\omega}{\omega_{max}}\right) = \frac{\omega_{max}}{\sigma^2} \phi(\omega) \dots \dots \dots (1)$$

なる式で無次元スペクトル $S(\omega/\omega_{max})$ に関係づけられる。

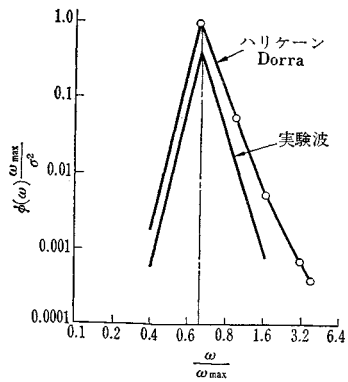
図-2 は、Hidy and Plate の各種の実験データの平均値を示したものである。Phillips が示した -5 乗法則は $\phi(\omega_{max})$ を ω_{max} に関係づける法則になる。このことは模型試験に関しての key point となる。

当論文の最初の仮定は、スペクトルは ω_{max} 付近で鋭いピークを持ち、図-2 と相似な形を有するものとする。このことは波がその振幅は不規則でもその周波数は主に ω_{max} なる波群で構成されることを意味する。 ω_{max} の周波数の波を卓越波と呼びその波高を H で表わす。

2 番目の仮定は卓越波成分の最大加速度が

$$a_{max} = \alpha g \dots \dots \dots (2)$$

図-2



で表わされるとする。ここで a_{max} は最大垂直加速度、 α は 1 以下の定数である。波高が Rayleigh 分布に従うと仮定すると、 N 波のうちの pN [p は %], 最大波高の平均値 H_p は \bar{H} を全平均波高とし $H_p/\bar{H}=m$ なる関係で与えられる。例えば $p=1/3$ [有義波] に対しては $m=1.42$ となる。もし個々の波が正弦波で表わされるなら pN 最大波の加速度は

$$a_m = \frac{1}{2} \omega^2_{max} H_p \dots \dots \dots (3)$$

水の表面上昇が Gauss 分布で表わされる波に対しては平均波高と分散の間に次式が成立する。

$$8\sigma^2 = \bar{H}^2 \dots \dots \dots (4)$$

有義波高では $m=1.42$ だから $a_m^2 = 4\omega_{max}^4 \sigma^2$ である。図-2 から十分発達した波に対しては $S(\omega_{max}/\omega_{max}) = S(1) = 0.5$ であることがわかる。よって式 (1) から

$$\phi(\omega_{max}) = \frac{\sigma^2}{\omega_{max}} \times 0.5 = \frac{\alpha^2 g^2}{8\omega_{max}^5} \dots \dots \dots (5)$$

Phillips によれば $\omega > \omega_{max}$ の領域では $\phi(\omega > \omega_{max}) = 1.05 \times 10^{-2} g^2 \omega_{max}^{-5} \dots \dots \dots (6)$

よってこれから次式の関係を得る。
 $\sigma^2 = 2.1 \times 10^{-2} g^2 \omega_{max}^{-4} \dots \dots \dots (7)$

いま現地と模型で波高を合わせるとすると

$$\left(\frac{\sigma}{L}\right)_m = \left(\frac{\sigma}{L}\right)_p \dots \dots \dots (8)$$

式 (7) から

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_p} = \frac{L_m}{L_p} = \frac{\omega_{max}^2 p}{\omega_{max}^2 m} \dots \dots \dots (9)$$

これはフルードの相似則に外ならない。すなわち、波の模型はフルードの相似則で表わされる。

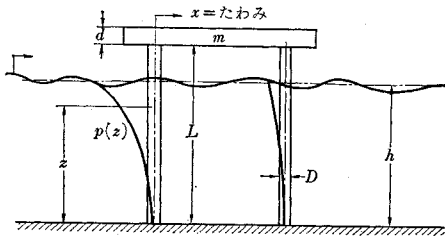
(3) 波の作用を受ける構造物の模型

線型構造物が $\phi_L(\omega)$ のスペクトルを有する不規則な動的荷重を受けると、変形スペクトル $\phi_x(\omega)$ は

$$K^2 \phi_x(\omega) = |H(\omega)|^2 \phi_L(\omega) \dots \dots \dots (10)$$

なる式で表わされる。 K は支持柱のばね定数、 $H(\omega)$ は

図-3 構造物



変換関数である。図-3 のような単純な構造物では変換関数 $H(\omega)$ は次のように表わされる。

$$|H(\omega)|^2 = \frac{1}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \dots\dots\dots(11)$$

ここで $\omega_n = \sqrt{K/M}$ なる固有振動数、 ζ は減衰率。

構造物の模型実験では次の3つの条件が満たされなければならない。

- 1) 模型と実物では幾何学的形状が相似であること。また波に対する構造物の比率も同一であること。
- 2) 各振動モードに対する減衰率が同一であること。これを満たすことは困難であるが、模型に制動装置を取り付け補正する。
- 3) 構造物の固有振動数に対するスペクトルピークの周波数 ω_{max} の比が模型と実物との間で一致すること。すなわち、模型と実物の間で式(12)が成立すればよい。

$$\left(\frac{\omega_{max}}{\omega_n}\right)_m = \left(\frac{\omega_{max}}{\omega_n}\right)_p \dots\dots\dots(12)$$

この式はフルードおよびコーシー数の一致の必要性を示すが、模型の形状が相似なときは、コーシー数を合わせればよい。

(4) 風の模型

風が構造物に作用する仕方には以下の3種がある。

- ① 吹送流の形成により抗力を生ずること
- ② 平均風速による風圧
- ③ 風の乱れによる動的な力

抗力については式(13)、吹送流については式(14)がある。

$$F_A = C_{DA} \times \frac{1}{2} \rho_A (\bar{U}_A^2)_{ave} \times A \dots\dots\dots(13)$$

C_{DA} : 抗力係数 U_A : 風速
 ρ_A : 密度 A : 面積

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_{ws}}{\rho_A}} \dots\dots\dots(14)$$

τ_{ws} : 水表面における風の接線応力

(5) 結 論

海洋構造物は風洞水路で風のみにより起こした波のもとで容易に実験可能である。理由は次のとおりである。

- 1) 模型風波のエネルギースペクトルが現地の波のそれに相似な形を有すること。
- 2) 風波のスペクトルはピークを生ぜしめる周波数 ω_{max} で規定されること。
- 3) 海洋の波のスペクトルはフルード法則で決定される。
- 4) 構造物の模型はコーシー数を一致せしめればよい。これは模型構造物を弾性係数の小さいプラスチックで製作すればよい。
- 5) 風洞水路の実験は風も含めた状態で行なえること。

(委員 木原 力・訳)

分流式下水道への雨水の流入防止

“Reduction of Hydraulic Sewer Loading by Downspout Removal”

Peters, G.L. and Troemper, A.P.

Jour. of Water Pollution Control Federation, Vol. 41, No. 1, pp. 63~81, January (1969)

(1) 概 要

下水の排除方式には、分流式と合流式があり、合流式では、雨水は、汚水と同じ管きょに流入するが、分流式では、汚水と雨水は別々の管きょに収容され、汚水は処理場で処理した後、雨水はそのまま、付近の海や川へ放流される。一般に雨水量は汚水量の数十倍といわれ、管径も、分流式の汚水管は雨水管にくらべてずっと小さなものとなる。このように、小さな汚水管に、不完全な施工や非合法的手段で雨水が流入したのでは、汚水管はたちまちオーバーロードとなってしまう。

イリノイ州スプリングフィールド市では、住宅地内の雨水が分流式の汚水管に多量に流入するため、管きょの容量が不足となり、浸水、管きょの破壊等の悪影響がめだってきたので、市民に、雨水を汚水管にとりつけないように呼びかけるキャンペーンを実施した。

(2) 第1回目のキャンペーン

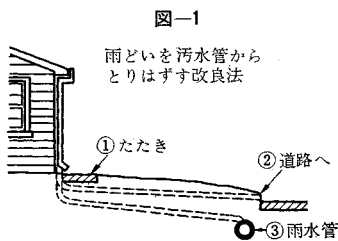
汚水管へ宅地内の雨水を流入させることは1926年来、市の条例で禁止されているのだが、1960年から1961年にかけて市内約7200の建物について検査したところ、そのうちの18%がこれに違反していることが判明した。そこでこの違反者に対して、それを改めるように勧告の手紙を送り、再び検査したところ、違反は2%以下に減っていた。そこでさらに勧告の手紙を出しはしたが、その後は予算、人員等の都合でこのキャンペーンはこれで終了した。しかし、法的な裏付けがあったとはいえ、このキャンペーンはかなりの効果をあげ、浸水の回数も激減し、市当局への苦情はほとんどなくなった。

(3) 第2回目のキャンペーン

市内にある合流式下水道では、これまで雨天時に降った宅地内の雨水は、汚水と同じ管きょに流入していたため、相当の量の、汚水と雨水の混合したものが付近の川や海に放流されていたのであるが、近年水質汚濁防止が叫ばれ、水質の規制がきびしくなったため、この方法は改めざるを得なくなった。そこで再び、合流式下水道の管きょも含めた広い範囲で雨水の流入防止キャンペーンを1966年から1968年にかけて行なうことになった。

その方法は、第1回目のキャンペーンが大成功であったのでそれに準ずることになった。

まず市内の25,527戸の建物について職員が検査カードをもって調べまわった結果、全体の40.3%が違反していることがわかった。そこで違反しているとみられる家主全員に前回と同じような手紙を出した。その手紙には市の規制条例の引用と、雨どいを污水管よりはらずに良いと思われる改良法(図-1)を3通り示した。



そして約1ヵ月後に、先の検査カードをもとに2回目の検査を行なったところ、違反は19.5%になっていた。そこで、改善したところには感謝の手紙を、まだ改善してない所には改善を促す手紙を出した。

このようにして検査と勧告を5回くり返した結果、

1968年4月1日には表-1のような成果をあげることができた。すなわち、95%以上の建物が市の運動に協力したのであった。

表-1

検査回数	1	2	3	4	5	結果
検査戸数	25 527	10 279	4 969	2 710	1 629	25 527
違反戸数	10 279	4 969	2 710	1 629	1 190	1 190
%	40.3	19.5	10.6	6.4	4.7	4.7

(4) 結 論

この成功の裏には、市当局の、住民感情に対する数々の細かい配慮があったことを忘れてはならない。しかしそれでも検査の仕方、手紙の文面、キャンペーンの意義、工事費用の個人負担等について住民から多くの反対や苦情がもちこまれたが、いずれも誠意ある回答で納得してもらうことができた。

このキャンペーンに要した市当局の費用は約45,000ドル、家主が改善に要した費用は一律には決め難いが、5ドルから50ドルの間で、多くとも100ドルは越えなかったものと思われる。

このキャンペーンの目的は、浸水対策と水質汚濁防止であったのだが、この外にポンプ所や処理場の費用が大幅に減少するので、上記の費用は決して高いものとはいえないであろう。これによって浸水の被害による苦情は減ったし、合流管の分水堤からの越流量もかなり減少したと思われる。

しかし今後さらにきびしい水質規制が行なわれることになる、新たに完全な分流式下水道を敷設することは経済的でないので、この分水した雨水を処理することになるであろうが、そうなった場合も今回のキャンペーンによる雨水流入の防止は有意義なものとなるであろう。

(委員 藤田 昌一・訳)

トンネル標準示方書解説

内 容

第1編 総 則

第2編 調 査

第1章 通則/第2章 概略調査/第3章 精密調査

第3編 設 計

第1章 通則/第2章 トンネルの線形、勾配および内空断面の設計/第3章 荷重/第4章 巻厚線および支払線/第5章 支保工の設計/第1節 通則/第2節 鋼アーチ支保工/第3節 ロックボルト/第4節 吹付けコンクリート/第6章 覆工の設計/第7章 裏込め注入/第8章 その他の設計

第4編 施 工

第1章 通則/第2章 保安/第3章 測量/第4章 掘さく/第5章 爆破/第6章 ずり処理/第7章 坑内運搬/第8章 支保工/第1節 鋼アーチ支保工/第2節 ロックボルト/第3節 吹付けコンクリート/第4節 木製支柱式支保工/第9章 型わく/第10章 覆工/第11章 裏込め注入

体 裁：A5判 160 ページ 定 価：800 円 会員特価：700 円 送 料：70 円