

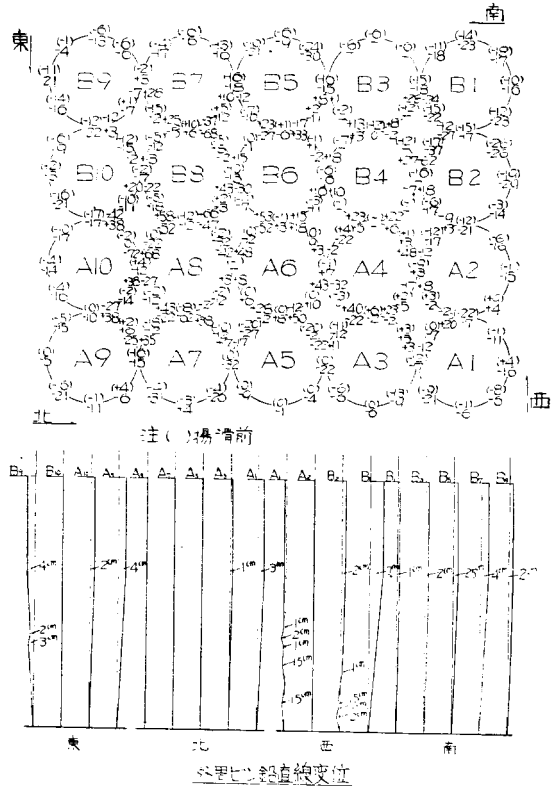
なお、作業中の実施コンクリートに関する種々の実測結果、試験結果を 図-8 に、完成したピンコンクリート天端のコンクリート厚、外壁面の傾きを 図-9 に、滑動型枠の歩掛りを 表-7 に示しておいた。

(c) 型枠の撤去 各種足代、ホッパー、シュート、吊足場を取り去り、作業台木部を撤去し、型枠を 30~40 cm 上昇して井桁バリを型枠とコンクリート天端間に挿入して一時的支えとしてから、ヨーク、ジャッキ、外枠、菱形枠、内枠の順に撤去した。

8. 結 び

初めての工法ではあつたが比較的円滑に施工ができ、結果も満足するものが得られた。これについては昼夜を分たぬ吉田徳次郎先生の熱心な御指導によるところが多大であり、ここに厚く謝意を表する次第である。なお本工法では最初の二三日はいかに細心の注意を払つても予想せぬ事故の発生はまぬかれないから、工事責任者は 48 時間くらいの間は現場を離れてはならないと考える。本工法の要点は多数数の作業員を主任監督者の指示どおりいかに統率するかという点にあると思われる。終りにのぞみ本滑動工事の実施について種々有益な御助言をいただいた神戸大学の木村教授並びに計画設計に当り多数の貴重な資料を提供していただいた京都大学関係各位に対し厚く謝意を表する次第である。

図-9 滑場前後における型枠内法変位



(昭.29.12.28・依頼原稿)

杭打基礎の耐震性に関する基礎的研究

准員 谷 本 喜 一*

A FUNDAMENTAL RESEARCH ON EARTH-QUAKE-PROOF PROPERTIES OF PILE FOUNDATIONS

(JSCE April 1955)

Kiichi Tanimoto, C.E. Assoc. Member

Synopsis In this paper the dynamical earth-pressure reaction against the bending vibration of the foundation pile is studied as the first step research on the earth-quake-proof properties of pile foundations. In order to make clear the effect of the earth-pressure reaction on vibration characteristics, the calculation method for the case of the arbitrarily distributed earth-pressure reaction is shown and the results obtained are compared with those by other methods and by an experiment. Besides, some notes on the application to the earth-quake-proof calculation are considered.

要旨 本文は杭打基礎の耐震性に関する基礎的研究として、杭の横振動について考察したものである。地盤反力が振動性状にいかなる効果を与えるかを調べるため、反力分布が複雑な場合の杭の振動性状の計算法を示し、その結果と他の計算並びに実験による結果と

を比較した。最後に耐震計算の使用に際しての二、三の問題点について若干論述した。

1. 基礎地盤反力(K)について

基礎構造の振動性状は構造物の耐震性に重要な影響を与えるもので、この研究は必然的に基礎地盤の土性に関連するところが多い。

* 京都大学助手, 工学部土木工学教室

基礎杭の振動性状は地盤反力 K に支配されるが、この反力の定量的把握は困難であるから、従来の計算においては次のような簡単な仮定のもとに解かれている。すなわち

- i) K は地表面からの深さの n 乗に比例する。
- ii) K は一定深度においては変位に比例する。
- iii) K の絶対値に静的実験値を採用する。

ここで i) の n は土の種類及び状態に関する係数であつて、計算においては通常 $n=0$ または $n=1$ としている。 $n=0$ のときは解析的に解くことが可能であるが、 $n=1$ とすればもはや不可能となり近似計算を行わねばならない。実際問題としては土質により複雑な分布をしているであろうから数値計算に頼らねばならない。ii) の変位に比例するという考えは通常の弾性支承の概念をもとにした取扱いであつて、ある点での反力がその点の変位のみによつて決定されその近傍の変位には無関係であるということには疑義があるように思えるが、振動に対しては近似的にこの仮定を正しいものと考えよう。次に iii) の静的実験値を用いることは正しくない。なぜならば反力の履歴特性を考えれば、その特性曲線上のいかなる部分を採用してよいか迷わされることから明白である。しかし動の実験値はまだ明確でなく、本文ではこれについて一つの測定例を挙げておいたが、その振巾依存性などが考えられるので今後の研究にまつところが多い。

2. 杭の横振動

一般に杭打基礎は 図-1 (a) のように杭群から成っているからその振動性状は複雑である。しかし上部構造の剛性及び弾性が大きく、その変形が杭の変形よりいぢるしく小さいと考えられる場合には、近似的に各単独杭は等しいたわみを起しその位相も一致するとしても大きな誤りはないであろう。従つて 図-1 (b) のように単独杭にその分担荷重が働らく場合を調べよう。理論的取扱いにおいて次のような記号を採用する。

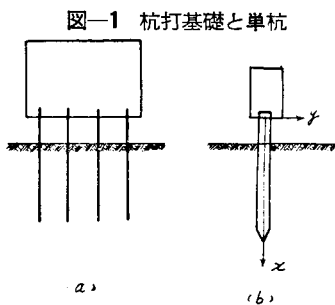


図-1 杭打基礎と単杭

r : 杭の単位重量, A : 杭の断面積, a : 杭の断面半径, l : 杭長, EI : 杭の曲げ剛性, W : 単独杭当りの上載荷重, $f(x,t)$: 水平外力, x : 上部構造と杭との取付部から測つた杭軸方向の長さ, y : たわみ, t : 時間, K : 地盤反力 ($=2ayk$) k : 地盤係数。

杭の単位長さについての平衡の式から次のたわみ振動方程式が得られる。

$$EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + \frac{rA}{g} \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + 2ay(x,t)k(x) = f(x,t) \dots\dots\dots (1)$$

式 (1) の右辺の外力は種々のものが考えられるが、いづれの場合にも自由振動性状は重要な意義を有するからこれについて調べ、かつ地盤反力の影響を考える。

自由振動の方程式は

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{rA}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + 2ayk = 0 \dots\dots\dots (2)$$

で境界条件は次のように仮定する。

$x=0$ において

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0, EI \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} = \frac{W}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \dots\dots\dots (3)$$

$x=l$ において

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0, \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

条件 (3),(4) を満足する (2) の解をうるためには地盤係数 $k(x)$ が既知でなければならない。 $k(x)$ が x に無関係な場合は解析解をうることができるが、そのほかの場合はたとえ x について 1 次函数であつてさえも厳密解をうることはできない。従つて一般に想像されるような複雑な函数であれば近似計算によらねばならない。この種の問題の固有週期の計算には従来 Rayleigh-Ritz 法, Galerkin 法などがあるが、 $k(x)$ の形状が複雑な場合は数値計算法を用いねばならない。ここでは変分原理を応用した著者の方法¹⁾によつて数値計算を行つた。この方法は微分方程式を近似的に階差方程式になおして、固有振動数の停留性を利用して逐次近似するものである。

式 (2) の基準振動が次の形で表わされるものとする。

$$y(x,t) = u(x) \cos \omega t \dots\dots\dots (5)$$

これを式 (2) に代入すると

$$EI \frac{d^4 u}{dx^4} - \frac{\omega^2 r A}{g} u + 2auk = 0 \dots\dots\dots (6)$$

が得られる。一方境界条件は次のようになる。

$x=0$ において

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = 0, \frac{d^3 u}{dx^3} = \frac{-W}{EIg} \omega^2 u \dots\dots\dots (7)$$

$x=l$ において

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = 0, \frac{d^3 u}{dx^3} = 0 \dots\dots\dots (8)$$

式 (6) を階差方程式に変換すると次の連立方程式が得られる。

$$A u_k = u_{k+2} - 4 u_{k+1} + \left\{ 6 + \frac{2ak(x_k)}{EI} (\Delta x)^4 \right\} u_k$$

$(x_0) = \frac{(dx)^3}{EI} \cdot \frac{W}{g} \omega^2$ となるが他の要素は全く同一である。従つて計算は全く同様に行うことができる。しかし注意すべきことは逐次近似の過程において ω^*

* が次第に変化することである。そのため第1近似においては $W=0$ の場合の $\omega^{(0)}$ をこの場合の ω の第0近似とし、またその第2近似においては ω の第1近似を用いて行う。一例として $W=80 \text{ kg}$ (荷載加振機*)

表-1 $W=0$ の場合の数値計算結果

近似度	ϕ_0	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7	ϕ_8	ϕ_9	ϕ_{10}
0	1.000	0.925	0.852	0.783	0.716	0.649	0.586	0.524	0.465	0.408	0.353
1	0.988 000	0.920 200	0.851 467	0.783 445	0.715 386	0.649 683	0.585 724	0.524 202	0.465 014	0.407 642	0.353 426
2	0.988 933	0.920 058	0.851 616	0.783 045	0.715 595	0.649 672	0.585 815	0.524 334	0.464 777	0.407 772	0.353 449

	ϕ_{11}	ϕ_{12}	ϕ_{13}	ϕ_{14}	ϕ_{15}	ϕ_{16}	ϕ_{17}	ϕ_{18}	ϕ_{19}	ϕ_{20}	Λ	$f_{\text{sec}^{-1}}$	T_{sec}
0.392	0.253	0.207	0.164	0.125	0.090	0.058	0.032	0.010	0	19.9×10^{-4}	18.03	0.055	
0.301 844	0.252 992	0.206 854	0.164 071	0.125 238	0.089 480	0.058 447	0.030 718	0.012 885	-0.004945	4.73×10^{-4}	8.78	0.113	
0.361 856	0.252 887	0.206 790	0.164 291	0.124 974	0.089 779	0.057 355	0.032 688	0.012 700	-0.007286	4.64×10^{-4}	8.69	0.115	

表-2 $W=80 \text{ kg}$ の場合の数値計算結果

近似度	$f_{\text{sec}^{-1}}$	T_{sec}
0	18.03	0.055
1	8.20	0.122
2	7.87	0.127

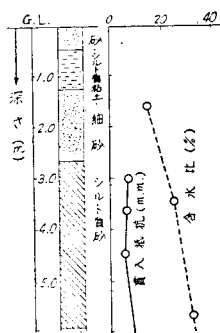
*重量)の結果は表-2に示すとおりである。

3. 実験及び考察

動的基礎地盤係数を実験的に研究するため後藤氏らとともに試験

杭による実測を行つた。場所は国鉄東海道線上淀橋梁直下で土質は図-3に示すとおりである。試験杭は2(A)の例に述べた諸元を有するものである。振動加振は杭上に固定した偏心質量型の起振機(自重80kg最大起振力600kg)により水平に加振し杭にとりつけた土圧計により振動土圧

図-3 現地地質



を求め、同時にたわみをC型振子及び撓度計で測定して地盤係数を求めた。実測による地盤係数は図-2のごとくである。次に起振機の振動数を変えて共振曲線を求め共振週期及び非線型振動性状を調べた。その結果共振週期は約0.13secで、この値は2(B)の結果(0.127sec)とほぼ一致している。一方杭のみの共振週期は実測することができなかつたが、加振機重量は小さいからこれを除いた杭のみの場合の固有週期は0.13secよりも数パーセント小さくなるであろう。従つて2(A)の結果(0.115sec)もほぼ正しいものとみられる。これらのことから、計算に用いた動的地盤係数の分布は大体妥当なものようである。しかし地盤係数の測定値は少ないから必ずしも放物線状をなしているとはいえない。この点に関しては今後さらに究明する必要がある。一方kが直線分布(図-2の点線)であると仮定し、載荷杭($W=80 \text{ kg}$)につ**

** いて Rayleigh 法によつて求めた結果²⁾は表-3

のごとくである。この結果、 k_A の変化に対する T の変化は僅小で、 k_A の値が上に述べた範囲のもので

は、この傾向は大体成立するようである。また2.に

表-3 $W=80 \text{ kg}$ の場合 Rayleigh 法による計算結果

k_A	$f_{\text{sec}^{-1}}$	T_{sec}
11	7.51	0.133
8	7.05	0.142
7	6.75	0.148

表-3 $W=80 \text{ kg}$ の場合 Rayleigh 法による計算結果

において採用した放物線分布の場合の結果も直線分布の結果と大差はないようであるから、実用計算において上記範囲のkに対しては直線分布を採用してよいのではないと思う。しかし場合により例えば特殊な土質地盤の場合あるいは杭長がいちじるしく大きい場合などは一概に直線分布を採用してよいかどうかは断定の限りではない。この後者の場合すなわち杭が相当長い場合には地盤係数は深さに比例して無制限に増大するとは考えられない。

4. 耐震計算への適用性

杭打基礎の設計において上載荷重に対する支持力について配慮すべきはもちろんであるが、動荷重特に地震力に対する安定性についてもあわせて考慮しなければならない。しかし地震力その他の強大荷重に関してはなお不詳の点が多く、現在ただちに設計資料として使用されるものは少ないといわざるを得ない。従つて結論としてではなくむしろ今後の研究の展望として以下二、三の事項について簡単に述べよう。

i) 地盤係数について 地盤係数は土の種類及び状態によつて変化するから種々の場合について実測を行う必要があるが、浅い杭に対しては深さとともに様に増大するとして実用上よいようである。しかし深さがいちじるしく大きくなつても地盤係数はそれに比例して大きくなることは常識上妥当でないようである。

ii) 非線型振動について 実測から求めた共振曲

線を見れば加振力が増大するとともに共振週期は若干大きくなる。これは地盤係数が変位に比例しなくともゆる soft spring の傾向を若干有することにほかならない。実験範囲内ではその非線型性は実用上無視しうる程度であるが、強大振動に対しては現在のところ何ともいえない。

iii) 仮想質量について 仮想質量または等価質量の考えの歴史は浅くないが、その本質についてはまだ不明であつて本文の地盤反力の問題のみならず種々の地盤係数の問題に付随して解決を困難ならしめている。種々の実測によれば、この量は荷重面積に影響されることがわかっている。従つて荷重面積の影響を除くために現在用いられている物理量、例えば固有週期あるいは復元力などの諸量を若干改変し、面積を考慮した量を採用せねばならないのではないかと思う。その一つの例として、平板荷重振動における reduced natural frequency³⁾ の概念がある。また仮想質量は本質的に復元反力に結びついているから両者を2元的に考えればその解明はきわめて困難である。これらの1つをおもに考えて他は一応不変として取扱えれば便利であるが、この方法にも疑義があり現在のところではその善悪は判明しない。

また減衰率は上記の諸量と密接な関係があり、これらは独立に考えられない複雑性を有するため今後の研

究にまつところが多い。従つて現在の段階での耐震計算は依然として物部氏の方法、Engel 氏の方法などに頼らざるを得ないと思う。この点に関し最近発表された後藤氏の方法⁴⁾は注目に値する。

5. 結 び

本文は杭打基礎の耐震性に関する基礎的研究の一端を述べたもので、わずかに基礎地盤係数が複雑な場合の計算法を示し、あわせて簡単な実験結果を述べたにすぎない。その他の諸問題については今後さらに調べたいと思う。

終りに本研究において終始御指導を賜つた京都大学教授村山朗郎博士並びに種々の資料を与えられた後藤尚男助教授に深謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 村山朗郎・谷本喜一：固有値問題の数値解法、土木学会誌、38—4, p. 138 (昭 28—4)
- 2) 後藤尚男・谷本喜一・前田泰敬・吉川和広：国鉄上淀橋梁基礎杭による模型橋脚実験 (昭 29)
- 3) G.P. Tschebotarioff: Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures, 1st. ed., 586 (1952)
- 4) 後藤尚男：橋脚地盤の基礎係数値とその橋脚の振動性状に及ぼす影響について、土木学会誌、40—1, p. 12~22 (昭 30—1)

(昭 29. 8. 13)

トンネル工事に応用した薬液注入

正 員 住 友 彰*
准 員 桑 田 博 文**

ON THE CHEMICAL INJECTION APPLIED TO TUNNEL WORKS

(JSCE April 1955)

Akira Sumitomo, C.E. Member, Hirofumi Kuwata, C.E. Assoc. Member

Synopsis Cement grouting and chemical injection are widely used methods to solidify the soft grounds and to stop the seepage of the tunnels. Recently, new chemical compounds Na_2SiO_3 and Na_2AlO_3 are proposed for this purpose by Dr. Eng. T. Maruyasu. The authors, however, found another kind of chemical compounds Na_2SiO_3 , Na_2SiF_6 and NaHCO_3 , and this method was ascertained more effective, through the fundamental experiments and its applications to the Kammon Vehicular Underwater Tunnel.

要旨 軟弱地盤の固結、トンネル覆工の防水にセメント注入、薬液注入が用いられるが、珪酸ソーダ、アルミン酸ソーダによる方法が、東大丸安博士によつて提唱されている。著者等は関門トンネルへの応用にあたり、丸安博士の原理にもとづいて基礎試験を行つて

いる際に、新たな薬液を見出し、これをトンネル覆工の防水注入に応用したところ好結果をえた。

1. 緒 言

トンネルの施工において軟弱地盤の固結、湧水の阻止等に注入が有効な工法であり、従来広く用いられてきたセメント乳は、安定した注入剤であるが細かい空隙や砂層に入りにくい欠点をもっている。これにかた

* 建設省関門国道工事事務所

** 同 上