

土質調査にもとづくクイ軸方向支持力の決定について

正 員 河 野 文 弘*

正 員 佐 々 木 晴 美**

正 員 ○ 佐 田 頼 光**

1. ま え が き

基礎グイの設計に際し、1本のクイの軸方向支持力を決定する方法には、載荷試験による方法、クイ打ち公式による方法および現場の土の物理的、力学的諸定数を用いて静力学的支持力理論から推定する方法などが挙げられる。

このうち、載荷試験とクイ打ち公式による2つの方法は、いずれも現場にクイを搬入し、クイを打ち込んだ後でなければ決定できない不便がある。これに反し、クイの静力学公式と称ばれるものも含めて、土の物理的、力学的諸定数から推定する方法は、クイ材の購入以前に1本のクイの支持力を推定できるという極めて大きな利点がある。しかし、一般のクイの静力学公式に対する信頼感は極めて薄いのが現状である。これは、土中深く打ち込まれたクイの支持機構、クイ周辺における土圧状態などがまだ十分明らかにされておらず、また、土質調査試験の精度にも問題が残されているためである。

クイのいろいろな外力に対する支持機構については、北海道開発局では数年前から、いくつかの工事現場について、現地地盤の土質調査試験、各種載荷条件に対するクイの変位、応力の測定などを行なってデーターを収集し、これらに検討を加えて、クイ基礎の合理的かつ経済的な設計方法を確立しようとしている。

この報文は、これらの一連の試験調査研究の中から、載荷試験によってクイの軸方向支持力を求めた現場について、土質試験調査結果から推定した支持力の信頼度を考察し、併せてクイの軸方向支持力の決定に関する今後の研究課題について検討を加えたものである。

2. クイの支持力推定に利用した土質試験調査

静力学的支持力理論によるクイ支持力は、クイ先端支持力と周面摩擦抵抗との和であるとして求められ、したがってクイ先端および周辺の土の物理的、力学的諸定数がまず第1に必要なファクターとなる。これらの諸定数を求める

表—1 クイ軸方向支持力決定に必要な土質試験調査

検 討 項 目	必 要 な 土 質 特 性	試 験 方 法	適 用 土 質	直 接 求 め ら れ る 値	間 接 的 に 求 め ら れ る 値	探 査 深 度	備 考
先 端 支 持 力 — 周 面 摩 擦 力	N 値, コーン指数, 内部摩擦角, 粘着力, 湿潤密度	標準貫入試験	玉石以外の土質	N 値	内部摩擦角, 粘着力, コーン指数	—	採取試料について、とくに物理試験を行うことが望ましい。試験深度に対するN値補正の考慮が必要。
		土試型, 静的貫入試験	泥炭, 軟弱な粘性土	コーン指数	粘 着 力	10 m	比較的軽量作工物でクイが長くない場合に適。
		オランダ式静的貫入試験	粘土性, シルト, ゆるい砂	コーン指数 外管押込抵抗	同 上	20~40 m	先端抵抗と周面摩擦を分離して測れる。
		ベーンセン断試験	泥炭, 軟弱な粘性土	セン断強さ	同 上	—	
		不攪乱試料に対する室内土質試験	泥炭, 粘性土, シルト	粘着力 内部摩擦角 湿潤密度	—	—	

* 北海道開発局土木試験所 土質研究室長

** " " 土 質 研 究 室

表-2 標準貫入試験結果 (N-値) を適用した静力学公式による支持力の検討

項目	計算値と実測値の比率										クイ 根入長 (m)	土質		備考						
	Terzaghi 式			Meyerhof 式			Dunham 式					先端	周面・ 土質							
	全体	周面	先端	全体	周面	先端	全体	周面	先端											
橋梁名	豊幌跨線橋	0.76	—	—	0.95	—	—	—	0.53	—	—	82.6	—	—	0.75	—	34.5	利 砂	泥炭 シルト	N-値は次式で補 正した $E = \frac{W + n^2 W_R}{e W H + W + W_R}$ クイ試験から求め た許容支持力のう ち先端部分の支持 力は軸方向支持力 から引拔抵抗を引 いたもの。 安全率は全て3と した。
	角山橋	0.66	0.59	0.72	0.89	1.43	0.42	—	1.95	3.96	0.25	40.0	—	0.57	1.01	0.77	41.0	礫交り 砂	泥炭 粘土	
	女満別橋	0.72	1.41	0.55	1.05	0.58	1.17	1.58	0.51	1.25	0.32	80.0	16.0	64.0	0.77	2.53	32.0	凝灰岩 シルト	有機土 シルト	
	岩見沢跨線橋	0.83	—	—	1.05	—	—	—	1.11	—	—	80.0	—	—	0.99	—	38.5	粘土	泥炭 粘土	
〃	0.85	—	—	1.12	—	—	—	1.18	—	—	—	90.0	—	—	1.05	—	45.5	〃	〃	
富士見橋	0.67	0.86	0.11	0.76	0.71	0.81	—	0.71	1.22	0.04	70.0	40	30	0.71	0.93	0.32	23.5	砂質土 粘土	礫土	
計算値と実測 値の平均比率	0.74	0.95	0.46	0.97	0.90	0.80	1.14	0.99	2.14	0.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

ための適当な土質試験調査として表-1に挙げるようなものが考えられる。ここに示した試験の中で標準貫入試験は、現在一般に広く利用されており、ボーリングを併用することにより土層を確認しながら土の相対密度を知ることができ、クイ支持力の計算に必要な粘着力、内部摩擦角などとの相関関係が比較的良好に検討されていることなどの点で便利であるが、調査深度が大きくなるとロッドの弾性圧縮やバックリング、振動などによる打撃エネルギーの損失、ロッド重量の増加による打撃効率の低下、およびロッドと孔壁との摩擦などのために測定された N-値は実際より大きくなる傾向があることなどに問題がある。このようなことから試験深度に対する N-値の補正が必要となり、これに対する 2, 3 の考え方^{1,2)} または資料³⁾ があるが現在のところ確定した方法はない。

これに対して、静的コーン貫入試験は、クイの載荷試験をある程度再現したものと考えられるので、クイの支持力を求めるための手段としては比較的適用性が高いと考えられるが、乱さない試料の採取およびその試料についての室内土質試験が最も多くの資料を与えてくれる点で望ましい。しかし、これは経費ならびに時間の点でどの現場でも実施できるものではない。

したがってここでは、乱されない試料の採取およびその試料についての室内土質試験を実施した現場の資料を中心に、静的コーン貫入試験さらに標準貫入試験の結果などをクイの支持力に対する検討に利用した。

3. 土質常数から求めたクイ支持力に対する考察

上述したような土質試験調査から得た土の諸定数にもとづき、いくつかの静力学公式によって求めたクイ支持力と載荷試験によって求めたそれとの対比を表-2に示した。

ここでとり挙げた公式について、それらの適用性を検討すると、Meyerhof, Terzaghi の式による計算結果が載荷試験による結果と比較的良好に合い、他の公式に較べて信頼度が高いように思われる。また、全支持力を周面摩擦抵抗と先端支持力にわけてこの問題について検討を試みたが、資料が十分でないため結論が得られなかった。これらの結果からもわかるように、静力学公式を利用する場合には、できるだけ精度の高い土質調査試験を必要とすると考えられる。

図-1 および 2 は、静的コーン貫入試験による外管の押込抵抗 ($f_{sp} \cdot V \cdot l$) とコーン指数 (q_c) の実測例でこれらの結果から各土層における平均コーン指数 ($\bar{q}_c$) と外管の押込抵抗から求められる平均周面摩擦 ($\bar{f}_{sp}$) の関係を示すと図-3 のようになる。測定値が少なくバラツキの大きいことなどから、ここではっきりした両者の関係を求めることは難しいが、 $\bar{q}_c$ から $\bar{f}_{sp}$ 、さらにはクイ平均周面摩擦 ($\bar{f}_s$) を推定することの可能性を期待させる。今後測定値を補足すること

によって両者の関係を見出し、静的コーン貫入試験のクイ支持力決定に対する適用性を高めていきたいと考える。

また、岩見沢跨線橋と富士見橋において載荷試験時クイ応力測定によって得られた平均周面摩擦 ($\bar{f}_{sp}$) と静的コーン

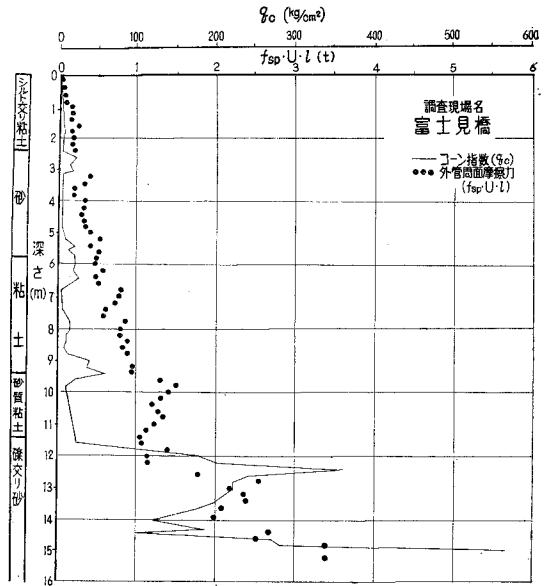


図-1 静的コーン貫入試験による外管の押込み抵抗とコーン指数

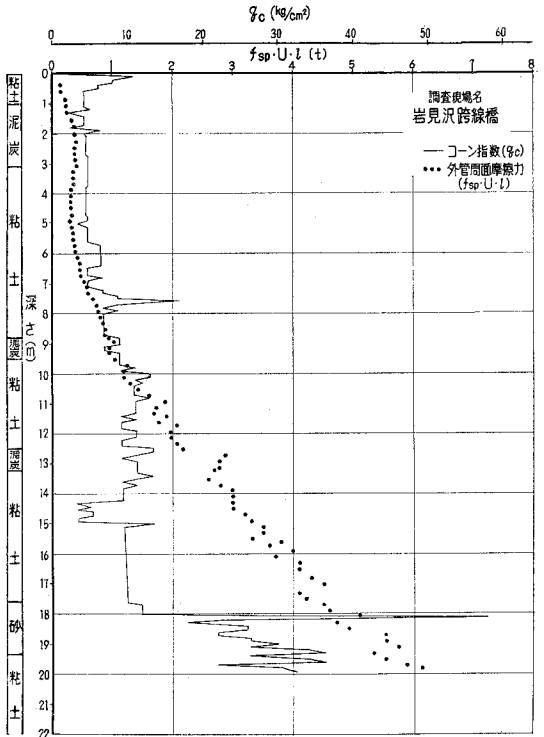


図-2 静的コーン貫入試験による外管の押込み抵抗とコーン指数

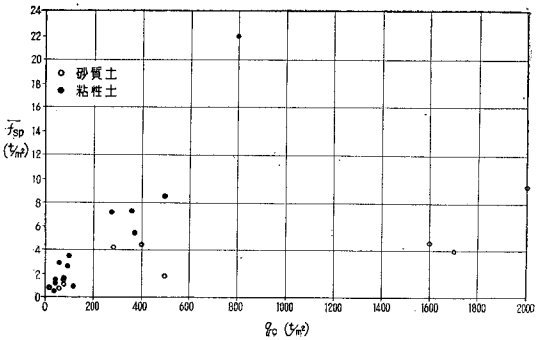


図-3 各土層における平均コーン指数と外管の平均周面摩擦

貫入試験によって測定した平均周面摩擦 ($\bar{f}_{sp}$) の関係を求めると次のようであった。

ただし、コーンペネトロメーターはその容量が十分でなかったためクイ先端まで貫入できなかったため岩見沢跨線橋においては深さ 14 m、富士見橋については深さ 16 m の範囲における比較結果である。

岩見沢跨線橋：

$$\bar{f}_s = 4.64 \text{ t/m}^2, \quad \bar{f}_{sp} = 1.8 \text{ t/m}^2, \quad \bar{f}_s / \bar{f}_{sp} = 2.6$$

(軟弱粘土)

富士見橋：

$$\bar{f}_s = 2.93 \text{ t/m}^2, \quad \bar{f}_{sp} = 1.95 \text{ t/m}^2, \quad \bar{f}_s / \bar{f}_{sp} = 1.5$$

(砂質土)

これら両現場においてみられる $\bar{f}_s / \bar{f}_{sp}$ の差異⁵⁾ の原因としては、土質、クイ寸法とコーンペネトロメーターの外管の寸法の違いによる摩擦の働き方の相違などが想定されるが、まだ十分究明されていない。この問題を明らかにすることにより、静的コーン貫入試験のクイ支持力決定に対する適用性を一層高めることができると考えられる。

また、土圧論にもとづくクイ周面摩擦抵抗の決定については実際にクイ周面に作用する土圧は、主応力および受応土圧の間にあるものと考えられ、その土圧係数決定法についてはいろいろな考えがある⁶⁾ がまだ研究の余地があるものと思われる。

いま、富士見橋、岩見沢跨線橋の載荷時のクイ応力測定結果を図-4および図-5に示し、これらの結果から各測定点と地表面との間におけるクイの全周面摩擦の深さ方向分布を示したものが図-6および図-7である。

同図には土圧理論の適用によるクイ周面摩擦の計算値、静的コーン貫入試験による、外管の周面摩擦から仮りに推定⁵⁾ したクイの周面摩擦を併示した。これによると砂地盤でのクイ応力測定による周面摩擦は受応土圧が作用するものとして、計算した結果に近い値を示しているようであるが、外管の周面摩擦とクイのそれとの関係に対する仮定など疑問点もあるので、今後さらに検討を要すると思われる。

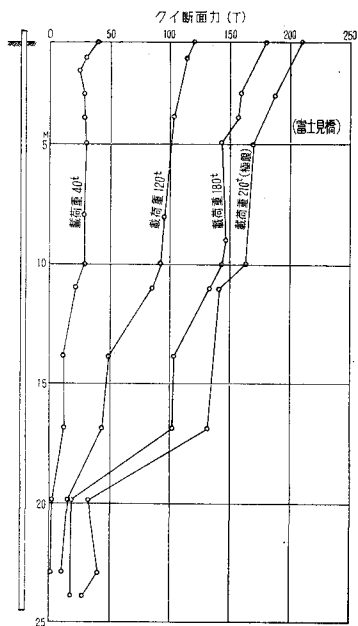


図-4 載荷時におけるクイ応力測定結果

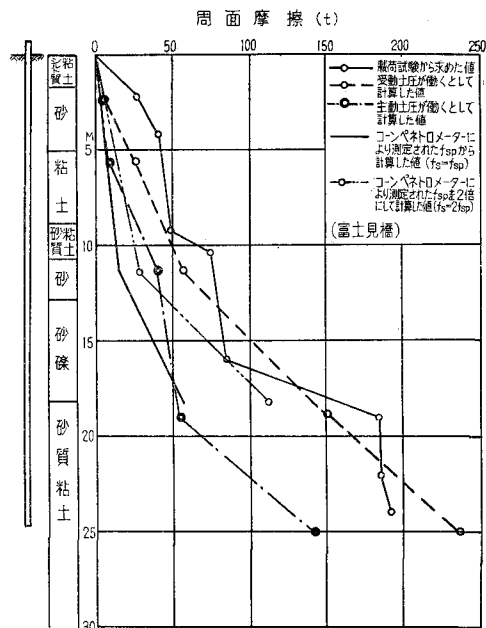


図-6 各深さ区間におけるクイの全周面摩擦

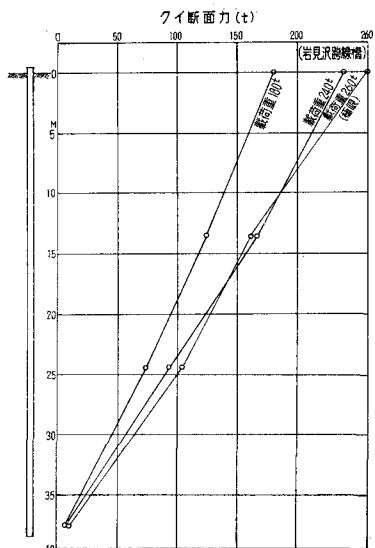


図-5 載荷時におけるクイ応力測定結果

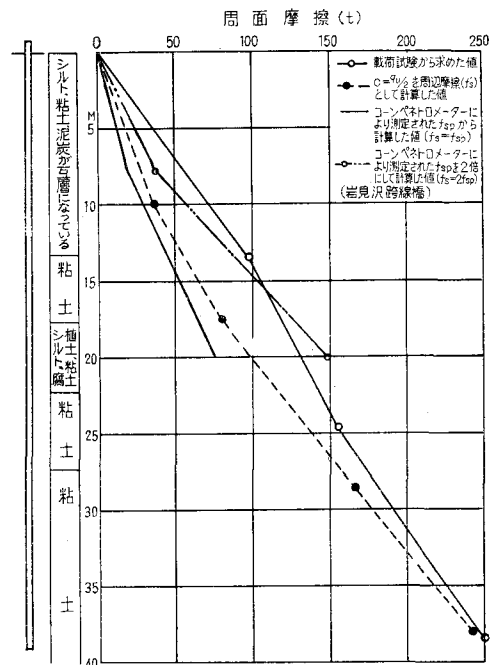


図-7 各深さ区間におけるクイの全周面摩擦

なお、コーンペネトロメーターの外管の周面摩擦とクイのそれとの関係は、本報文において検討しようとした問題の1つでもあり、ここで用いた方法でクイ周辺の土圧状態について考察するためにもその関係を明らかにすることが必要であると考え。粘土地盤では、データが少なくはっきりした結果は得られなかった。

4. むすび

本報文では、(1) 静力学公式の適用性、(2) 静的コーン貫入試験のクイ周面摩擦抵抗の決定に対する有効性、(3) クイ周

辺における土圧状態、などの問題の検討を試みた。

今後は、試験調査データをふやすことにより、これらの問題を究明するとともに、クイ先地盤に対する貫入を常に容易ならしめるような大容量の静的コーン貫入試験機の開発などにより、載荷試験や打ち込み試験のようにクイを現場に搬入することなしに信頼度の高いクイ軸方向支持力を

求める方法を確立したい。

終りに、現地での静的コーン貫入試験およびその資料整理は、開発局土木試験所土質研究室成田健一、早坂恵慈の両君によるところが大きいことを附記する。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会：土質試験法解説第2集.
- 2) 日本道路協会：道路橋下部構造設計指針.

くい基礎の設計篇.

- 3) R. D. Chellis：Pile Foundation.
- 4) 土木試験所年報：昭和38年度.
- 5) G. G. Meyerhof：Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils A. S. C. E. Vol. 82, 1956.
- 6) 西田義親：杭基礎に関する文献集録. 1960.