

資料

建築鋼ぐい基礎設計施工規準について

やま がた くに お
山 肩 邦 男*

編集委員会より、建築鋼ぐい基礎設計施工規準について、同規準作成関係者の1人としての立場から、作成の過程や規準の内容、さらに問題点などを解説するよう、ご依頼をうけた。改めて同規準を振り返ってみると、作成審議のあの頃がなつかしく回想され、また当時の時代的背景における本書のもつ意義を再確認した思いである。

本規準は昭和38年の作成になり、すでに7年余を経過した。当時は、わが国において鋼グイが使用され出してから数年の頃であり、鋼グイの設計や施工に関する規準とか指針は、建築基礎構造設計規準の一部を除いて、ほかにみられなかった。長尺グイとしての鋼グイの適用性が世の注目を受けていただけに、作成にあたった委員も意気盛んで、新しい研究調査の結果や知識を、積極的に導入しようとする進取の気に富んでいた。この成果として、当時にとっては新鮮な内容をもった本規準が生れたのである。

土質基礎関係の研究の進歩は、近年特に目ざましいものがあつた。したがって本規準に関しても、作成当時不明確であった点で、その後資料が蓄積されてわかってきたものもあるし、また本規準の内容で誤りであったと反省させられる事項も、次第に数を増してきた。この規準も、作成当時の社会的責任を一応果たして、そろそろ老年期に入ってきた感があり、いずれ改訂されねばならないであろう。

現時点に立って本規準の問題点を見だし、これを批判するには、その後の鋼グイ全般に関する発展の跡をたどり、問題点のそれぞれに関する研究の現在のレベルを認識しなければならない。このようなことは、個人の限られた研究分野では、とうてい不可能である。したがって、日ごろ気がついていた問題点のいくつかについてのみ筆者の見解を述べ、あわせて本規準使用上の注意事項を解説することで、一応の責任を果たさせてもらうこととしたい。

1. 本規準作成の過程および背景

建築鋼ぐい基礎設計施工規準作成のための活動は、昭和34年10月、建設省建築研究所内に設けられた鋼ぐい研究会の発足に始まる。その当時、数10m以上のチ

ュウ積層を貫通してクイ打ちを行なう必要のある建築基礎工事が、次第に多くなる情勢にあつたが、このような工事に有力な長尺グイとして、鋼グイが注目をひきつあつた。そこで、かねてより鋼グイに対して深い関心をもっていた岩間正彦・石黒徳衛・竹山謙三郎・大崎順彦諸氏の発意によって設立されたのが、上記の鋼ぐい研究会である。同研究会は、竹山謙三郎主査・大崎順彦幹事のもとに委員24名からなり、約2年間にわたって本基準の原案作成に尽力された。この原案内容は、建築雑誌 Vol. 76 No. 899 (昭36.6)¹⁾ に発表されたごとくである。

昭和36年春、日本建築学会構造標準委員会では、下部機関である基礎構造分科会の中に、特に鋼ぐい小委員会を設け、この原案を引継いで審議し、規準化することとなった。この時点で、上述の鋼ぐい研究会は解散した。鋼ぐい小委員会は、委員18名(竹山謙三郎主査・大崎順彦幹事)からなり、そのほか審議協力者として27名が参加した²⁾。筆者も、この小委員会からの参画である。

当時は、後にも述べるごとく、鋼グイ基礎に関する新しい調査研究の結果が、年年急速度に蓄積されつつあつた時勢下でもあり、審議に参加した委員達の規準作成への熱意は、すこぶる盛んであつた。委員会には毎回新しい資料が提出されて、議論はしばしば白熱化し、きわめて重量感に富んだ委員会活動であつたといえよう。このため、当初昭和36年末を目標とした成案は大幅に遅れ、本規準の発行をみたのは、2年余を経た昭和38年6月である。研究会原案¹⁾と比較しても、かなりの修正や追加が行なわれたことがわかつた。

ここで、本規準作成の時代的背景やその意義を、振り返ってみたい。戦後の数度にわたる景気によつてもたらされた建設ブームは、昭和20年代における戦後復興期を乗り切つたのみならず、昭和30年代に入つてからも、一段と急激な建設工事量の上昇をもたらした³⁾。国土総合開発計画や都市再開発などの諸構想も順次発表され、海岸線沿いの比較的軟弱な地盤が、建設工事の対象地盤として次第に注目され出したのも、昭和30年代に入つてからである。かくしてチュウ積層の厚い地盤における長尺グイの需要が高まつてきた。

* 関西大学教授・工博

わが国において鋼グイ基礎が始めて本格的に施工されたのは昭和 33 年であったといわれ、それ以前においては、ピヤ工法や井筒工法などを除いて、木グイ・既製鉄筋コンクリートグイ・ペデスタルグイなどの基礎グイがみられる程度であった⁴⁾。したがって、長尺グイとしての鋼グイによせる建設界の期待は大きく、学会や各メーカーの鋼グイ開発への調査研究は、急速に積重ねられていった。特に実グイについての応力測定をともなった現場実験の成果^{5)~10)}他は、より現実的な問題点の所在と対策を、明らかにするところが大きかった。

昭和 35 年 11 月に発行された建築基礎構造設計規準は、従来の研究の集大成の上に作成されたものであり、わが国における建築基礎構造設計上の基本的な考え方を確立したという点で、非常に大きな意義をもつものであった。本規準は、この基本的な考え方の流れをくむものであって、建築基礎構造設計規準の鋼グイ基礎に関する詳論であるとみていただくのがよい。しかし、鋼ぐい研究会・鋼ぐい小委員会を通じて集積された文献・資料（約 200 編）の検討結果が、かなりの範囲にわたって折込まれており、鋼グイを使用する上での時宜をえた規準となった。

本規準が発行されて間もなく、昭和 38 年 10 月、日本工業規格 JIS A 5525「鋼管グイ」および JIS A 5526「H 形鋼グイ」も制定され、建築基礎工事における鋼グイ基礎の設計施工態勢が、一応完備したものとみなされる。鋼材倶楽部の調査による鋼グイ需要量の推移¹¹⁾は、図-1 のごとくであって、昭和 39 年以降の急角度の需要増大は、建設工事量の伸びとの関係もあるであろうが、本規準の発行が大きく寄与しているものと考えてよからう。

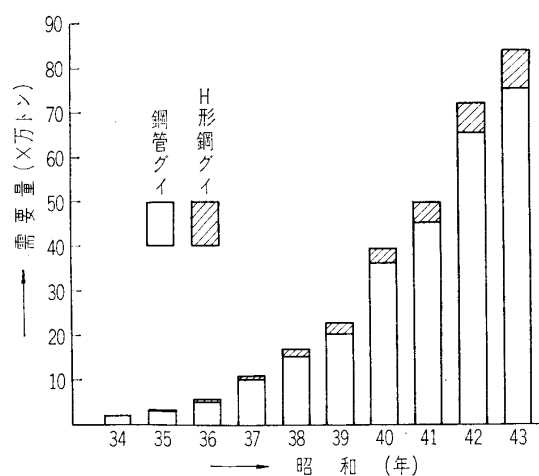


図-1 鋼グイの需要量推移

なお、本規準の作成審議にあたって未解決であった研究課題については、さらに研究を推進させるために、鋼材倶楽部および大手鉄鋼会社から土質工学会に研究委託が行なわれ、昭和 37 年、土質工学会内に鋼グイ研究委

員会が設立される運びとなったことを、付記しておく。

2. 本規準の内容

本規準は、設計規準および施工規準の 2 部よりなる。施工規準をも含めて一体としたのは、鋼グイとしての信頼性が、現場継手の溶接やクイの打ち込みなど施工に関係深いことを重視したためである。以下に、本規準の内容の要点を概説する。

2.1 許容支持力の決定法

クイの許容支持力の決定法は、建築基礎構造設計規準と同じ考え方によるものであって、たとえば長期許容支持力の場合は、表-1 に示すごとくである。この表にしたがって、本規準ならびに解説にもられた特色を列挙してみよう。

表-1 長期許容支持力の求め方

載荷試験を行なう場合	載荷試験を行なわない場合
$R_g \times 1/2$ $R_u \times 1/2$ $\sigma_a \times A_n$	静力学的支 持力公式 クイ打ち公式 その他の式 $\sigma_a \times A_n$
最小値 基準支持力	これらからの判定値 小さい値 基準支持力
$\text{基準支持力} \times (1-\alpha) \times (1-\beta) = \text{長期許容支持力}$	
ただし R_g : 降伏支持力, R_u : 極限支持力, σ_a : クイ材の長期許容圧縮応力, A_n : クイの有効断面積, α : 継平による低減率(%), β : 径長さ比 L/D (長さ L , 径 D) による低減率	

i. 降伏支持力の判定法としては、建築基礎構造設計規準の場合より一步前進し、いわゆる $\log R \sim \log S$ 法、 $S \sim \log t$ 法、 $R \sim \Delta S / \Delta \log t$ 法 (R : 荷重, S : 沈下量, t : 時間) が採用された。これらの判定法は文献^{12), 8)}他によるものであって、判定法としての合理性が高くなったと考えられる¹³⁾。この採用は、現在同方法が一般に慣用化されるとぐちともなった。

ii. 鋼材としての許容圧縮応力度 σ_a ならびに継手による低減率 α については、建築基礎構造設計規準値がそのまま踏襲された (表-2 参照)。

iii. 径長さ比による低減率 β については、建築基礎構造設計規準より優遇され、 $(L/D - 120) \times 1/2$ (%) とされた (表-2 参照)。元来径長さ比による低減率の規定は、ボストン市コードなどの例にならって、実用的見地から設けた制限であって、明確な理論的根拠のないものであり、当時数は少なかったが長尺グイとしての鋼グイの実績値が参考とされたことによるものである。

iv. 静力学的支持力公式としては、マイヤーホッフ

表-2 許容支持力算定上の諸常数の推移

	(1) 建築基礎構造設計規準	(2) 建築鋼管基礎設計規準	(3) 建設省住宅局建築指導課長通達	備考
発行年月	昭 35. 11	昭 38. 6	昭 44. 6	—
長期許容圧縮応力度 σ_a	1,600 kg/cm ²	1,600 kg/cm ²	1,000~1,400 kg/cm ²	SS 41 級
継手による低減率 α	0%	0%	5%	1 個所につき
径長さ比によ る低減率 β	鋼管グイ H型グイ	$(L/D-120)\%$ $(L/D-120) \times \frac{1}{2}\%$	$(L/D-100)\%$ $(L/D-70)\%$	負の値の場合 は 0%

(Meyerhof) の式¹⁴⁾に摩擦抵抗を加えた修正式が推賞された。この場合、開端鋼管グイ (外径 R) および H 形鋼グイ (形状 $A \times B$) の先端支持面積としては、それぞれ $\pi R^2/2$ および $A \times B$ が有効と判定された。当時としては、管内土による閉そく (塞) 効果が有効に働くものと考えたためである。

v. クイ打ち公式として、ハイレイ (Hiley) 式からの誘導式 $R_a = (1/3)e_f F / (S + K/2)$ が推賞された。

vi. なお、クイが地盤沈下のおそれのある地盤を貫いている場合、建築基礎構造設計規準と同様に、クイに働く負の摩擦力 (ネガティブフリクション) の検討を指示したが、十分な資料をえないため、方針のみを示すにとどまった。

2.2 載荷試験法に関する規定

表-1 において、載荷試験を行なう場合の規定は、行なわない場合よりも優先する。建築基礎構造設計規準においては、載荷試験法の規定が簡略にすぎたのに対して、本規準では条文および解説がかなり詳しくなった。すなわち、最大荷重の定め方・荷重階のとり方・載荷法などの条文規定のほか、解説にはかなりの頁数がさかれ、緩速試験法のほかに急速試験法の提案、応力測定法・先端沈下測定法・2 重管による先端支持力試験法などの具体例が示された。なお付録として、載荷試験結果の荷重～沈下量曲線集や載荷試験装置例なども収録された。

この特色は、当時わが国の載荷試験技術が鋼グイによって急速に進歩したところであり、これらの資料が積極的に活用されたためである。以後、載荷試験を実施する上で、一般の参考となるところが大きかったことと思う。

2.3 断面決定

クイ断面の決定にあたっては、2.1 によるほか以下の諸項目にわたって検討すべきことが、規定された。

i. 打込み時の打撃応力について検討する。クイの一部が地上に露出している場合には、打撃力の偏心やクイの傾斜などにに基づく曲げモーメントの影響をも考慮する。打撃応力の算定式としては、波動方程式による方法が推賞された。この方法は、ナニンガ (N. Nanninga) の研究¹⁵⁾を基とし、さらにクッション材の影響を考慮したものである。

ii. 負の摩擦力を考慮する場合は、軸圧の最大値 R_{Nmax} が極限クイ断面支持力 $R_a = r' A_n$ ($r = 2,400$ kg/cm² 採用) 以下であることを検討する。

iii. 閉端形の中空鋼管グイの場合、打込みに際して

軸方向打撃応力とともに、土圧および水圧などの側圧を受ける。薄肉鋼管の場合、このような側圧の中に局部座屈を生じた事故例があったため、側圧による座屈の検討を規定した。

iv. 後に述べる防食のための断面の割増しを行なう。

2.4 細部の設計

鋼材は材質としての信頼度は高いが、集中応力に対して局部座屈を生じやすい欠点をもつ。このため、継手・クイ頭部・クイ先端部など局部的に応力集中を生じやすい個所の設計要項を規定した。とくに現場継手は溶接に限るものとし、施工規準においても溶接規定を密にした。またクイ頭部については、フーチングとの接合に留意することとし、パンチングシヤーに対する対策も解説された。なおこれら細部については、設計上の参考にするため、実施例が数多く盛込まれた。

2.5 防食

鋼グイ設計上の大きな要素の一つは防食問題である。対策として、事前に地盤の腐食性・周囲の状況などを十分に調査して腐食の程度を判定すること、その結果に基づいて必要な腐食しろを設けるか、有効な防食処置を講ずることとした。具体的には、コロージョンポイントを地中に押込んで地盤の復極率および比抵抗を測定し、この 2 つの値から腐食度を判定するローゼンクイスト (Rosenqvist) 法が推賞された。また防食対策としては、以下の方法が提示された。

i. (支持力に必要な肉厚) + (腐食しろ = 年間腐食率 × 耐用年限数) = (実設計の肉厚) とする。

ii. 特に調査を行なわない場合には、建築基礎構造設計規準に従い、クイの周辺土に接する表面: 2 mm, 鋼材で囲まれた内側の表面: 0.5 mm を腐食しろとする。

iii. コンクリート (厚 6 cm 以上) 巻立てによる防食法。

iv. 塗装による防食。

v. 電気防食法の採用。

2.6 施工規準

クイ打ち工事一般に共通する施工指針のほか、特に現場溶接による継手については詳細な規定を行ない、また溶接工の資格を、JIS Z 3801 による 2 級以上の試験に合格したものと規定した。なおクイ打ちの施工精度とし

ては、打止め時のクイの傾斜は 1/100 以内、クイ頂の水平移動は 10 cm 以内と規制した。

以上のほか、許容引抜き力、引抜き試験、クイ打ち試験その他の規定もあるが、建築基礎構造設計規準と同内容であったり、とくに本規準としての特色を表わすものではないと思われる事項については、省略した。

3. 本規準の問題点

以上、本規準の内容の要点を述べた。これらの規定の中には、必ずしも十分な資料に裏付けられたものではなく、決定を将来の研究にゆだねることとして、暫定的に定められたものも多い。これらの内のあるものは、本規準作成後次第に解明されてきたものもあり、現在なお不明確なものもある。ここでは、これら問題点のいくつかを重点的にしぼって、解説してみることとする。

3.1 開端鋼管グイと閉端鋼管グイの適用性比較

鋼管グイの開端・閉端のいずれが、クイとしての適用性にすぐれているかの問題は、小委員会における主な論争点の一つであった。すなわち一説としては、開端グイは打込まれるにつれて管内に土が侵入して、クイ内周面との間の摩擦力が増大するため、いわゆる閉そく効果を生ずるに至り、支持力的には閉端と同等となること、および閉端用シューの製作が量産的でないことなどを主張して、開端グイの優位性が主張された。他方、同径グイの比較実験^{8), 10)}において、閉端グイが開端グイよりも支持力および沈下剛性の両面においてすぐれていたという事実から、開端グイの閉そく効果を疑問視し、先端支持面積の確実である閉端グイの優位性を主張する立場があった。この2つの立場の間において、かなり論争が展開されたが、当時としては決め手となる資料が十分でなく、最終的には前者の説が採用される結果となった。

しかしながら、その後に行なわれた川崎製鉄における実験¹⁶⁾や琵琶湖大橋における大径グイ実験などによって、大径グイの場合、閉そく効果が十分期待できないことが次第に明らかとなり、次の 3.2 に述べるような研究が促進されることとなった。したがって現在では、本規準の閉そく効果ありとする内容は妥当ではなく、径約 50 cm 以上の大径の場合、閉そく効果はほとんど期待できないとする意見が一般的となってきた。

一方、P C グイに関する森の宮の実験結果^{17), 18)}などからは、打込み時において閉端形のクイに作用する先端土圧および側土圧が予想以上に大きいことが明らかとなり、鋼管グイを閉端とする場合、側土圧による座屈の検討および先端シューの設計の重要性が改めて認識された。これらの検討法としては、①先端シューは、波動方程式からの打撃応力式の計算値によって、短期強度を検討すること、②ミーゼス (V. Mises) の式²⁾によって、

一様な側土圧をうけた場合の座屈圧 p_k を求め、 p_k が $(1.5 \sim 2.0)r$ 以下であることを検討することを、提案しておく。

地盤条件からみた開端グイ・閉端グイの比較では、前者の場合、貫入性がよく長尺グイとして適する反面、支持層が十分厚くて、支持層への根入れ長さが十分でない、先端支持力があまり期待できない点があるのに対して、後者の場合、貫入性が悪く長尺グイには適さないが、支持層が薄くても先端支持力に期待が持てる長所があるといえる。結局、開端か閉端かの問題は、地盤条件のいかんによって左右されると考えるのが正しいと思う。

3.2 開端鋼管グイの支持力機構

さきに述べた文献¹⁶⁾などの実験結果は、大径グイの場合における閉そく効果の概念を否定するものであった。この結果に注目して、山原¹⁹⁾は管内土の摩擦抵抗降伏値の積分値 P_x とクイ先端を閉端と考えた時の先端地盤の極限支持力 R_u との比較から閉そく効果を論じ、閉そく効果は大径グイほど生じにくく、大きな根入れ深さを必要とすることを指摘した (図-2 参照)。この論文が、従来からの閉そく効果に関する既成概念を打破った功績は、大きかったと思う。ついで田島²⁰⁾は、管内土の土柱が下から押上げられるものと考えて閉そく効果を論じ、クイ径が大きいほど、また管内土の圧縮性の高いほど、閉そく効果が減少することを指摘した。しかしながら、これらの研究^{19), 20)}においては、クイを剛体と仮定し、またクイと管内土との間の相対的な沈下関係を無視しており、理論の不備が感じられた。

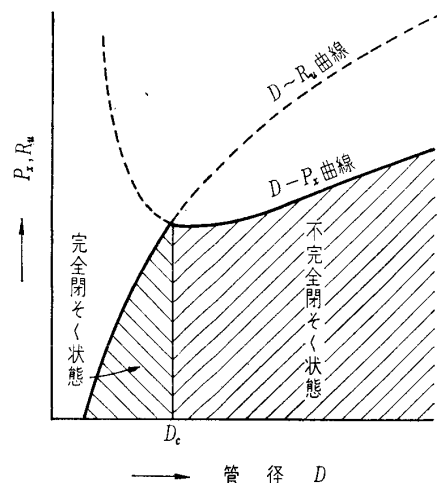


図-2 山原¹⁹⁾による閉そく効果の考え方

この点に関して、筆者らは、クイの沈下挙動・管外土のセン断変形および管内土柱の圧縮のすべてを考慮した支持力機構として論ずべきであると考え、文献²¹⁾の理論を拡張して、差分方程式による理論解を導いた²²⁾。結果として、管内土柱はクイ長さの大部分にわたってクイと

資料-153

其下がりを生じ、管内土柱の摩擦抵抗はごく先端付近に限られることが、指摘された。これは、閉そく効果という問題を、単に管内摩擦力の積分値と先端支持力との釣合いのみから論ずべきでないことを物語りものである。また同報告²²⁾において、従来の載荷試験による長期許容支持力 R_{at} と、閉そく効果が完全と仮定した場合のマイヤーホッフ (Meyerhof) 修正式による長期許容支持力計算値 R_{ac} との比較結果は、図-3 のごとくであり、実験値は理論値に対して大幅に低下していることがわかる。他の検討の結果、この理論値の過大である原因は、先端抵抗の過大見積りによることが指摘されている。

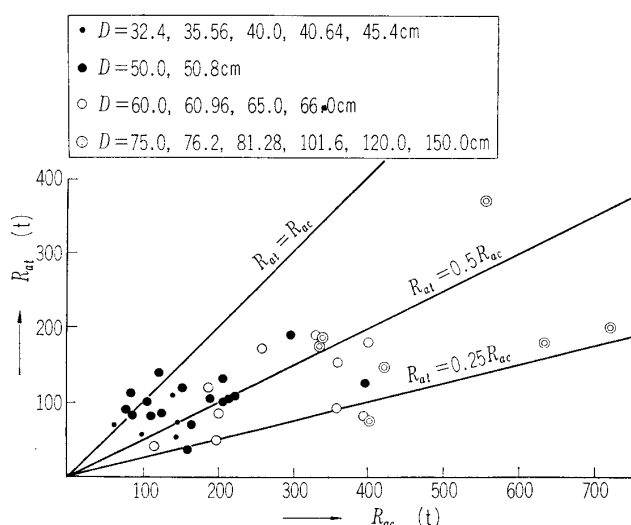


図-3 長期許容支持力に関する計算値と載荷試験値の相関図

閉そく問題に関連深いものとして、砂質土層中に打込まれたクイの先端付近におけるアーチアクション (図-4 参照) の効果も考えなければならない。しかし、この分野はまだほとんど未解決のままで、今後の研究に待つ以外にない。アーチアクションは管径 D によって大きく影響されるものであり、小径グイの閉そく効果の大きいのは、管内土の摩擦力の積分値よりも、むしろアーチアクションとの対比で考えるべきであると考えられる。この点、極小径の模型グイによる閉鎖効果の実験結果^{23), 24)}は、そのまま実大グイに拡張して考えてはならないと思う。

以上を総合すると、開端グイ (径: 約 50 cm 以上) は摩擦グイ的に考えるべきであると、筆者は考える。ただし管内土の摩擦抵抗は、文献²²⁾の結果のほか、アーチアクション効果をも考えて、せいぜい支持層内に限定した値を採用すべきであろう。文献²⁵⁾のリバー

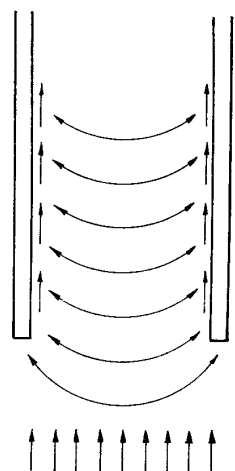


図-7 クイ先端部のアーチアクション

アークシェーによる支持力効果は、この支持層内での内面摩擦抵抗を増大させたことおよび断面を区切ってアーチアクションを生じやすくさせたことによるものと、解釈できよう。

3.3 打込み時の打撃応力

本規準では、波動方程式からの誘導式が採用された。同式は、クイを弾性連続体として衝撃波の移行を考えたものであり、クイを1つのマッスと考えた打撃エネルギーのつり合い式よりも合理性のあることは、論をまたない。この式はハンマー重量が入っていないため、一見奇異な感を持たれるむきもあった。この点については、宇都²⁶⁾がクイ体内を伝達する弾性波動の性状を解説し、さらにシンクロスコープを用いた打撃応力の観測実験²⁷⁾を行なって、測定値がハンマーの断面積と落下高さには関係するが、ハンマー長さに関係であることを実証した。これらの文献は、打撃応力に関する概念を明確にした点で、貴重な研究であったといえよう。

波動方程式からの誘導式の適用にあたっては、ディーゼルハンマーを用いた場合の係数 (α) として、本規準では 2.0 を採用しているが、この場合打撃応力計算値が実測値を大幅に上回ることが、次第に明らかとなってきた。検討の結果では、 $\alpha = \sqrt{2}$ ^{28), 17)}あるいはそれ以下²⁹⁾とする方が、適用性がよいようである。ディーゼルハンマーの打撃時と爆発時との間には時間的なズレがあるため、打撃応力は重なりあわず、したがって $\alpha = 2.0$ とする考えは不合理であるとの見方が、次第に有力となってきている。 α の値についてはさらに検討を要するが、多少安全側をみこんだ値として、一応 $\alpha = \sqrt{2}$ とみておくのがよからう。

道路橋下部構造設計指針のくい基礎の施工篇³⁰⁾では、クッションの常数を含まない波動方程式からの誘導式を採用し、効率 e を乗ずる形式を提案している。打撃によるクッションの消耗度がいちじるしいこと、クッション効果が量的に把握しにくいことなどを考えると、実用式として適した方法と思われる。ただし、 e の値として 0.6 を採用しているが、筆者の検討では過大な計算値となった例がある。上記の α 値と同様、 e についても今後の検討を要すると思う。

3.4 打込み時のちょうちん座屈

クイ断面に対して過大なハンマーを用いた場合、鋼管にちょうちん状の座屈を生じた事故例が、報告されている³¹⁾。藤田によれば、①鋼管グイ ($\phi 324$ mm, $t=7$ mm, $l=19\sim 21.5$ m, クイ頭補強プレートつき) をハンマー D22 で打込んだ場合、②鋼管グイ ($\phi 355.6$ mm, $t=6.9$ mm, $l=30$ m) をハンマー D22 で打込んだ場合などに発生したとのことである。前者の場合の打撃応力最大値が 2,300 kg/cm² であったことから、ハンマー容量がク

イに対して過大であったことがわかる。

鋼材自体は信頼性の高い材料であるが、肉厚が薄いと局部座屈を生じやすい欠点をもつ。したがって、クイ頭部における偏打、クイの傾斜および湾曲、継手部を介しての上下クイ間の相対的な傾斜など、曲げ応力の発生しやすい原因を極力除くこと、現場溶接の不完全さ、無用な切欠きや付属物によって局部応力が大きくなる原因をつくらないことなどの注意が必要である。しかし、現実にはある程度の曲げ応力や局部応力の発生することは避けられないものであるから、あらかじめ打撃応力の算定を行ない、その値を短期許容応力度の 70% 程度に押えておく必要がある。上にのべたちょうちん座屈も、ごく一部の局部座屈から始まって、ついに全周におよんだ現象と解釈される。

3.5 負の摩擦係数

本規準作成当時、負の摩擦係数に基づくクイ基礎の沈下被害例や理論解の報告は、すでにいくつかみられた。しかし設計対策として役立つ実測結果や基礎資料はほとんどなく、建築基礎構造設計規準の方式にならった概念的な規定とするほかなかった。

土質工学会鋼グイ委員会では、この負の摩擦係数を重要研究課題の 1 つとしてとりあげ、第 3 分科会を組織して調査研究を行なった。同分科会では、4 本の試験グイ ($\phi 609.6 \text{ mm}$, クイ長さ: 約 44 m, 鋼管グイ) について、負の摩擦係数に関する長期測定実験が行なわれたが、結果として、従来にない貴重な資料をえることができた。この内容は、遠藤によって文献³²⁾に報告されているので、参照されたい。同文献には、実験結果に基づいた単グイおよび群グイの負の摩擦係数に関する検討法も示されている。なお本実験の裏付けの理論としては、文献^{33)~38)}を参考にされるのがよい。

以上、本規準作成当時と比べると、負の摩擦係数に対する設計対策の基礎資料は、かなり蓄積されてきた段階であるといえよう。しかし現実の群グイに対する対策としては、従来からのテルツァーギ・ペック (Terzaghi・Peck) 式³⁹⁾との関係も未検討であり、今後の研究に待つ余地が残されている。

3.6 腐食

鋼材の土中における腐食率については、判然としない点が多い。本規準の作成にあたって、従来の調査例が集められたが、これらの示す腐食率は非常に広範囲にわたる分布を示した。この原因は、腐食現象に影響する因子が、土質・水質およびこれらの電気的状態、鋼材の材質、迷走電流、バクテリアの活動、その他の多岐にわたること、調査機関が異なること、調査法がマチマチであることなどが、考えられている。

土質工学会鋼グイ委員会では、わが国における腐食率

の実体を調査するため第 1 分科会を設け、大規模な実測計画にのり出した。大崎の報告⁴⁰⁾によれば、地盤条件の異なった地点 10 地点を全国から選び、計 127 本の試験グイが埋設されており、埋設後 2 年・5 年・10 年において地上に拔出し、統一した方法で腐食状況が調査されることとなっている。現在 2 年目の調査が終った段階であり、この結果では、①鋼グイの腐食は予想外に少なく、年間腐食率の総平均は約 0.014 mm/年にとどまっていること、②本規準で推奨したコロージョンポイントによるローゼンクイスト (Rosenquist) 法の予測値と実測値との間にはほとんど関連がなく、この測定法の実用性には疑問がもたれること、③外部電源法による鋼グイの電気防食の効果については、いまだ断定できないが、塗装は防食上かなり有効とみられることなどが、報告されている。今後の測定結果が出そろえば、鋼グイの防食対策も、より明確な方針がたてられるようになる。

3.7 その他

以上、重要な問題点について、その後の研究も含めて解説しておいた。これら以外のものについては、以下に簡単にふれておくにとどめたい。

本規準にクイ打ち公式として提案されたハイレイ式からの誘導式は、その後の実験値と比較すると、過大な支持力を与える場合が多い。打込み時の抵抗の大部分は先端地盤の抵抗であること⁴¹⁾、したがって貫入抵抗から静的な許容支持力を推定すること自体問題があることを認識すると共に、同式の適用にあたっては十分注意し、他のクイ打ち公式とも比較検討する必要がある。

鋼グイとしてとりうる許容応力度、継手による低減率、径長さ比による低減率などの値は、その後行政的に変更されてきている。この点に関しては、次節の 4. を参照されたい。

1. の終りに述べたごとく、本規準作成時に問題とされた研究課題は、土質工学会鋼グイ研究委員会に引継がれた。同委員会の研究結果は文献⁴²⁾にまとめられており、すでに引用した報告^{32), 40)}以外に、鉛直支持力・水平支持力・基礎底面における抵抗と設計法・適用性などが、収録されている。したがって、これらの報告をも参照されることを、お勧めしたい。

4. 本規準使用上の注意

3. で述べてきたことからわかるように、本規準を使用するにあたっては、内容を無批判的に受入れることなく、適宜修正を施す必要がある。このことは、単に本規準に限るのみならず、あらゆる規準や指針に共通することであって、その後の学問的、技術的進歩を補って使用するのが、技術者としての勤めであろう。この参考に供するため、以下に本規準使用上の注意事項をあげてお

く。

4.1 鋼グイの許容応力度や低減率について

昭和44年6月、建設省住宅局建築指導課長からの通達⁴³⁾によって、各種クイの長期許容圧縮応力度、継手による低減率、径長さ比による低減率などが定められ、従来各特定行政庁ごとに定めていた指導規程が、全国的に一歩化された。したがって、行政的には、この通達内容によって規制されるので、クイ基礎の設計にあたって注意しなければならない。

鋼グイ関係の通達内容は表-2に示したほか、①腐食しろは、地盤の腐食性試験で求められる年間腐食率に80をかけた数値（上部構造の耐用年数が明らかな場合は、耐用年数をかけた数値）以上とする。②腐食性試験を行わない場合は、腐食しろを2mm以上とする。③クイの肉厚は、Hグイに対しては10mm以上、鋼管グイに対しては9mm以上とする。などの規定がある。これらの理由は、同通達の解説を読んでいただくとして、表-2の比較からわかるように、本規程値よりかなりきびしい制限となっていることを、注意されたい。なお従来から、これらの許容応力度にクイ断面積をかけた値をもって、クイの許容支持力と速断しているむきがあるが、あくまで表-1の $\sigma_a \times A_n$ に対応するものであるため、地盤条件からの検討を忘れてはならない。

今回、建築基準法が改正され、クイ材の許容応力度などは施行令の技術規程によって規定されることとなった。技術規程の内容は近く決定されることと思われるので注意されたい。

4.2 地盤からの許容支持力の求め方

閉端鋼管グイに関しては、本規程のマイヤーホッフ修正式による計算値は、ほぼ妥当性があると考えられる。しかし開端鋼管グイについては、3.2に述べた理由により、マイヤーホッフの修正式は過大な値を与える。またハイレイ式も信頼できるものではない（3.7参照）。したがって、できるだけ載荷試験を行なって、許容支持力を検討することが望ましい。どうしても載荷試験を行なえない場合には、図-3や他の載荷試験資料などを参考として、マイヤーホッフ修正式による計算値を低減するか、新しい理論式を適用してみるなどの処置が必要であろう。

4.3 載荷試験法について

載荷試験法については、本規程にはかなり詳しい解説がついているが、載荷試験技術は、その後も進歩が続いている。筆者は、文献⁴⁴⁾においてPCグイに関する載荷試験法を解説しておいたので、これを準用していただければ幸いである。なお土質工学会クイ載荷試験委員会では、クイの鉛直載荷試験基準を作成中であり、過日同規程案⁴⁵⁾を発表したので、参考に供されたい。

4.4 負の摩擦力の検討法

3.5に述べたごとく、検討法が十分確立したとはいえない段階である。筆者としては、文献³⁸⁾の論拠によって、暫定的にはテルツァーギ・ペック³⁹⁾の式

$$R_{NF} = (\tau AH_0 + LH_1s)/n$$

を採用しておけば、安全側であると考え（ただし、 R_{NF} ：負の摩擦力によってクイに生ずる最大軸圧、 s ：支持層以上の平均せん断抵抗、 n ：クイ本数、

その他の記号は図-5参照）、したがって、 R_0 （クイ頭荷重） $+ R_{NF} = R_{Nmax}$ が、クイ体の短期許容圧縮力およびクイ先端の短期許容支持力以下であることを検討する。クイ先端軸圧は R_{Nmax} より小さいが、クイ先端の支持力に対して安全をふんだ処置である。なお文献³²⁾に

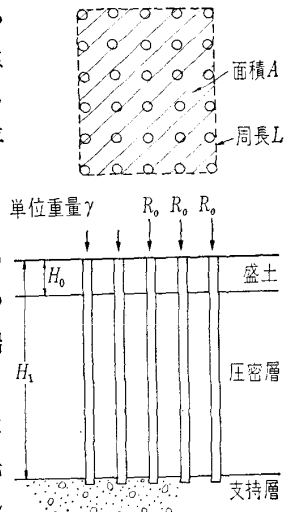


図-5

は、遠藤の提案式があるので、あわせて参照されたい。

4.5 打撃応力の検討

本規程の波動方程式からの誘導式を適用するにあたっては、3.3に述べたところにより、ディーゼルハンマーの場合の係数 (α) として $\sqrt{2}$ 程度の値を採用し、この計算値を短期許容応力度の70%程度に押えておくのがよい。クイ断面積に対して、適正なハンマーを選ぶことがクイを損傷しないための必須条件である。一応の参考値として、文献⁴³⁾の解説より表-3を引用しておく。同表などによってラム重量を選定し、あわせて打撃応力の検討を行なえばよい。

表-3 クイの種類・径とハンマーの関係

クイの種類		ラム重量 (t)			
		1.25	2.2	3.2	4.2
クイ径 (mm)	① コンクリートパイル	300~400	400~500	500~700	700
	② 鋼管パイル	300~380	380~630	630~770	770
	③ H型パイル	300×300~400×400	400×400		

以上、本規程作成の過程から、内容の概要、問題点および本規程使用上の注意などについて解説を行なった。いま読直してみて、筆者の私見が強く出過ぎた感もある。しかし問題点としての感じ方や考え方などは、個人によって相違するものであって、ある程度いたし方がないと思う。ご容謝いただきたい。なお本文に関する読者諸兄のご批判・おしかりをいただけるよう、願ひしておきたい。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会構造標準委員会・材料施工委員会：鋼ぐいの設計，施工，標準の作成について，建築雑誌 Vol. 76, No. 899 1961.6
- 2) 日本建築学会：建築鋼ぐい基礎設計施工規準・同解説，昭 38.6
- 3) 無音無振動基礎工法研究会：無音無振動基礎工法，鹿島出版会 昭 44.4
- 4) 山肩邦男：クイおよびビヤ基礎（土質工学会関西支部「土質工学 10 年の歩み」10 章），昭 43.11
- 5) 運輸技術研究所港湾土質部：鋼製杭の打込・静荷重試験，昭 34.5
- 6) 八幡製鉄所土木部構築鋼材試験課：第 1 回鋼基礎杭試験報告，昭 34.10
- 7) 鈴木信孝：東京用品庫新築に伴う基礎杭試験報告（その 1，その 2），土と基礎 Vol. 8 No. 2 および No. 3 1960.4 および 6
- 8) 横尾・原田・山肩・佐藤：各種基礎クイの比較実験，土と基礎 Vol. 9 No. 5 1961.10
- 9) 山肩邦男：日本電信電話公社大阪中央電報局建設現場における H 型鋼基礎杭の荷重試験結果に関する報告，昭 37.8
- 10) 鷺尾・馬場・山肩・鳥海：尼崎製鉄株式会社丸島構内における各種鋼管ぐいの比較実験に関する報告書，昭 37.8
- 11) 鋼材倶楽部：需要開拓 15 年の歩み，昭 45.6
- 12) 村山朗郎・柴田徹：粘土中の摩擦グイの支持力とその新測定法，土木学会論文集 59 号 昭 33.11
- 13) 山肩邦男：支持杭の載荷試験における降伏荷重の力学的意義に関する考察（第 1・2 報），日本建築学会論文報告集 79・80 号，昭 37.11・12
- 14) G.G. Meyerhof: Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, ASCE 82, 1956
- 15) N. Nanninga: The problem of Pile Driving, Proc. III ICSMFE, 1953
- 16) 建設省建築研究所・川崎製鉄：大型鋼杭試験報告書，
- 17) 山肩邦男：森の宮市街地住宅建設現場における PC ぐいの総合的実験（抄録），1968.2
- 18) 山肩邦男：PC ぐいの諸性状（1），（2），建築技術 No. 200・201 1968.4・5
- 19) 山原 浩：鋼管ぐいの閉塞効果と支持力の機構，日本建築学会論文報告集 96・97 号，昭 39.3・4
- 20) 田島重男：開端グイの先端閉そく効果の考察，土質工学会第 1 回土質工学研究発表会講演集，昭 41
- 21) 山肩邦男：支持杭の沈下に関する理論的考察，日本建築学会論文報告集 68 号，昭 36.6
- 22) 山肩邦男・永井興史郎：開端大径鋼管ぐいの支持力機構について，日本建築学会大会学術講演梗概集 昭 45.9
- 23) K. Szechy: Tests with Tubular Piles, Acta Technica Academiae Scientiarum Hungaricae Tomus XXIV Fasciculi 1-2
- 24) 岸田英明：開端ぐいの内部につまった土の性質，日本建築学会論文報告集号外，昭 41.10
- 25) 小松・脇黒・富永：大口径鋼管グイの閉ソク性に関する 2,3 の実験，土と基礎 Vol. 17 No. 5 1969.5
- 26) 宇都一馬：クイの打込み（弾性波としての打撃応力について），橋梁と基礎 1—7，1967
- 27) 森田・宇都・冬木：シンクロスコープを用いた打撃応力の観測，第 23 回土木学会年次学術講演会概要，III-42，1968
- 28) 古藤田喜久雄：クイ打ち公式（「コンクリートパイルハンドブック」7 章），コンクリートポール・パイル協会 昭 41.8
- 29) 山肩邦男：関西電力株式会社海南火力発電所第 2 期工事における PC ぐいぐい頭部の打撃応力の計測結果に関する考察，1968.4
- 30) 日本道路協会：道路橋下部構造設計指針（ぐい基礎の施工篇），昭 48.10
- 31) 藤田圭一：ぐい打ち技術ノート，日刊工業新聞社 昭 45.7
- 32) 遠藤正明：ネガティブフリクション（土質工学会編「鋼グイ」第 5 章），土質工学会 昭 44.9
- 33) J. Ahu: Le frottement Annales de L'institut technique du batimentet des travaux publics, No. 145, 1960
- 34) P. Habib: Le frottement negatif, Annales de L'institut technique de batimentet des travaux publics, No. 145, 1960
- 35) 横尾・山肩・長岡：単ぐいに作用する Negative Skin Friction の理論解，日本建築学会論文報告集 133 号，昭 42.3
- 36) 別所多喜次：鉄道高架橋構造に関する研究，1961
- 37) L. Zeevaert: Reduction of Point Bearing Capacity of Piles because of the Negative Friction, First Pan-American Conf. on SMFE, 1959
- 38) 横尾・山肩・長岡：群ぐいに作用する Negative Skin Friction の理論解，日本建築学会論文報告集 150 号，昭 43.8
- 39) K. Terzaghi and R.B. Peck: Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley, 1948
- 40) 大崎順彦：腐食（土質工学会編「鋼グイ」第 4 章），土質工学会 昭 44.9
- 41) 山肩邦男：杭打試験における総打撃回数曲線に関する考察，日本建築学会論文報告集（大会号），昭 37.9
- 42) 土質工学会編：鋼グイ（鋼グイ研究委員会報告），土質工学会，昭 44.9
- 43) 建設省住宅局建築指導課長：ぐい体の許容応力度等に関する取扱いについて（通達），昭 44.6.19
- 44) 山肩邦男：支持力試験（「PCパイルハンドブック」16 章），コンクリートポール・パイル協会，昭 45.9
- 45) クイ載荷試験委員会：クイの鉛直載荷試験基準（案），土と基礎 Vol. 18 No. 7 昭 45.7

(原稿受付 1970.10.15)

※

※

※