

(17) 原位置における実規模アンカーの付着特性に関する検討

大成建設(株) ○正会員 伊藤 文雄
東京電力(株) 正会員 岸 清
東京電力(株) 正会員 大久保 嘉雄
東京電力(株) 正会員 都築 進

A STUDY ON INTERFACES OF ANCHOR USING IN-SITU TEST

Fumio Ito Taisei Corporation
Kiyoshi Kishi Tokyo Electric Power Company
Yoshio Ohkubo Tokyo Electric Power Company
Susumu Tuzuki Tokyo Electric Power Company

A b s t r a c t

We conducted in-situ pull-out tests using developed technique to get non-linear character of interfaces in the Nishiyama layer. From these tests, we can decide non-linear character of interfaces, and use these character as the input data for model which consists of beam with shear spring directly. In this paper, test results are prepared and the model which consists of beam with shear spring is effective technique to apply to anchor behavior and gives us not only suggestion of the design method but also the possibility of applying to controlled anchor construction by using load-displacement curve calculated from this model.

1. はじめに

アンカーの基本的な定着機構については、室内試験による定量的な検討から、ストランドと定着モルタル間、定着モルタルと地盤間の両付着特性が支配的であること、並びに両付着特性を離散化した梁-バネモデルの有用性も確認する事ができた。しかしモノストランドと実規模アンカーでは、ストランド形状、本数、定着深度、アンカー周辺の地盤の剛性による拘束効果により定着機構も異なり、室内試験より得られたバネ特性を実際のアンカーに対して適用することは難しい。そこで実規模アンカーに対する設計段階では実規模の条件下の定着機構を踏まえた上での合理的設計手法の確立が急務である。

一般に実規模アンカーの設計時には対象となる地盤における引抜き試験を多数行い、その結果から安全率を見込んだ付着強度を設定し、一様な付着応力分布を仮定した引抜き耐力を算定した上で定着長の決定を行う手順をとる。しかしアンカーの破壊モードは幾つかのモードが想定され、各々の定着機構を明らかにしたうえで設計手法に取り込む必要がある。

本研究は、実規模アンカーの定着機構の定量的な把握を目的として、ストランドと定着モルタル間、定着モルタルと地盤間の付着特性を実規模レベルで決定するため原位置試験による検討を行ったものである。その結果得られた実規模引き抜き試験結果を分析することにより、アンカーの付着特性を決定することができ、その結果を反映させた梁-バネモデルによる解析からアンカーの設計手法に対する考察を加えたものである。

2. 実規模アンカー引抜き試験

梁-パネモデルの実規模への適用性を検討する際には、パネ特性の把握が重要である。人工地盤を用いて設定したパネ特性と実地盤でのパネ特性は付着面の形状、周辺状況の違いにより異なるため、本研究ではパネ特性の設定を目的とした原位置引抜き試験方法を考案した。実施した試験は西山地盤を対象に行い、両付着面のパネ特性を直接把握する試験と得られたパネ特性の適用性を確認するための試験に分けられる。

2. 1 パネ特性設定試験

a) ストランドと定着モルタル間のパネ特性設定試験

パネ特性を把握するためには、各付着面上の相対変位を計測する必要がある。このため本試験においては定着モルタル中に鉄筋棒を挿入してモルタルを打設し、挿入した鉄筋棒の変位をモルタルの絶対変位として計測すれば各々の差をとることによって各付着面上の相対変位を算定することが出来る。このため鉄筋棒の測定精度を保持出来るよう地表付近の浅い深度での試験となる。ストランドと定着モルタル間のパネ特性を把握するため図-1に示すようにこの面上のみで付着切れが起こるようにストランドの付着長さを定着モルタルの付着長さより短くし、ストランドと定着モルタル間で引抜けるようにした。

b) 定着モルタルと地盤間のパネ特性設定試験

引抜けを定着モルタルと地盤間に規定するため、図-2に示すようにストランドの定着部のアンカーヘッドに抑えプレートを設置し、ストランドが引抜けないよう固定した。

なお両試験共定着長を50cmとした。

2. 2 パネ特性確認試験

先に得られたパネ特性の実規模アンカーへの適用性を確認するため表-1に示す9ケースの試験を実施した。これらの試験は全てストランドに歪ゲージを貼付し、ストランドに発生する軸力を測定することとした。実施した試験は通常の引抜き試験と同様に引抜きモードを規定しないものとし、定着長、定着深度（自由長、長さ）を変化させたもので、得られた試験結果に対して梁-パネモデルによる解析結果と比較しパネ特性についての検討を行うものである。これらの試験結果として定着長と引抜き耐力との関係を図-3に示す。引抜き耐力は定着深度が深くなると大きくなっており、深度別にみると定着長と引抜き耐力との関係はほぼ直

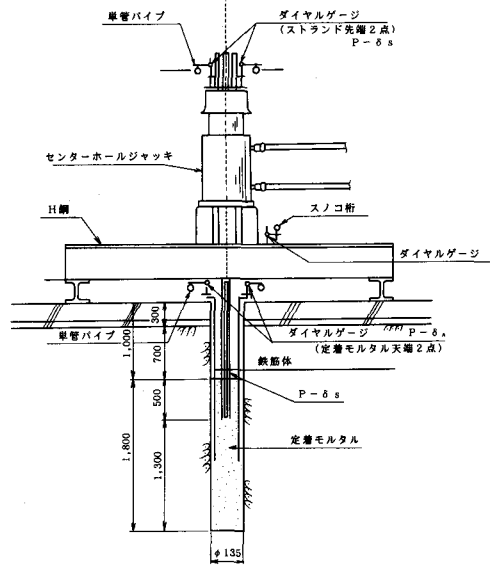


図-1 ストランドと定着モルタル間のパネ特性設定試験

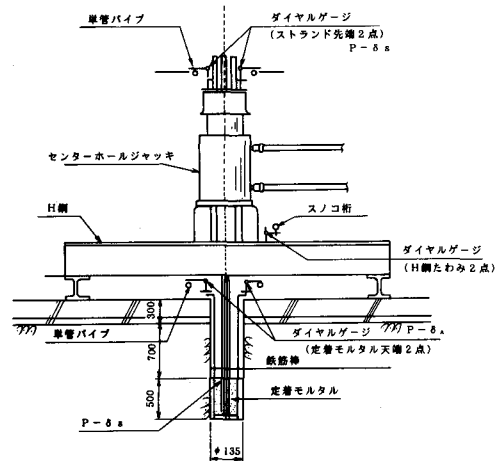


図-2 定着モルタルと地盤間のパネ特性設定試験

表-1 引抜き試験ケース一覧表

No.	ストランド 種 別	定着部 形 状	弾性係数 ×10 ⁶	ストランド 断面積	ストランド 外径	ストランド 付着長	ストランド 自由長	定着モルタル 径	定着モルタル 長
A-1						52	243		52
A-2						52	243		50
A-3						101	244		101
A-4						100	246		101
B-1	B5-12	スベレ直	1.97	11.845	4.91	303	482	135	303
B-2						307	479		307
B-3						207	474		207
B-4						111	473		111
B-5						111	470		114

線となっている。

なおこの2つの回帰線の勾配は、定着深度が深い場合は浅い場合の約1.6倍となっており、別途実施した孔内載荷試験結果の変形係数の深度方向の比率とも同様な値となっている。これは定着部の挙動に対するアンカー周辺の地盤の剛性によって拘束効果が生じていることを示しており、浅い定着深度での試験結果を深い深度に適用する際にはこの拘束効果を考慮した評価を行う必要があることを意味するものである。

3. 付着特性に関する検討

バネ特性設定試験から得られた結果を相対変位とセン断応力の関係で整理する。ここでセン断応力は引抜き耐力をストランド及び定着モルタルの周面積で除した値であり、セン断変位は定着部口元の変位を指す。ストランドと定着モルタル間のバネ特性を図-4に示す。試験結果(実線)はピーク強度を示した後残留強度を示す歪軟化特性を示しており、この結果から設定したバネ特性を図中の点線で示した。

次に定着モルタルと地盤間の付着特性を評価する際には梁-バネモデルのバネ特性の定義に立ち戻る必要がある。すなわち梁-バネモデルにおける定着モルタルと地盤間のバネ特性は、モデル上地盤を固定としているため定着モルタルの絶対変位がみかけ上相対変位として評価される。しかしバネ特性設定試験においては地盤の変位を許した条件下での付着特性が得られており(図-5参照)、バネ特性の設定に当たってはこの試験結果から地盤変形分を差し引く必要が生じる。そこでまず荷重の増加に伴う定着モルタルに接する地盤変形を算定するために軸対称弾性有限要素解析を実施し、各荷重に対応する地盤の弾性変形量を算定する。次に図-5に示すように試験結果から設定したバネ特性(一点鎖線)から地盤変形分を差し引いた値(点線)を梁-バネモデルによる解析に用いる相対変位とした。

以上の検討によって設定したバネ特性は、人工地盤を用いた室内試験によって決定したバネ特性と比較すると、ストランドと定着モルタル間については室内試験と同様歪軟化を示すが、定着モルタルと地盤間は完全弾塑性を示す。またピーク強度、残留強度の値は実地盤におけるバネ特性の方が大きい。これはストランド形状及び西山地盤による拘束効果の相違が、定着部の挙動に影響を与えていることを示唆するものと考えられる。

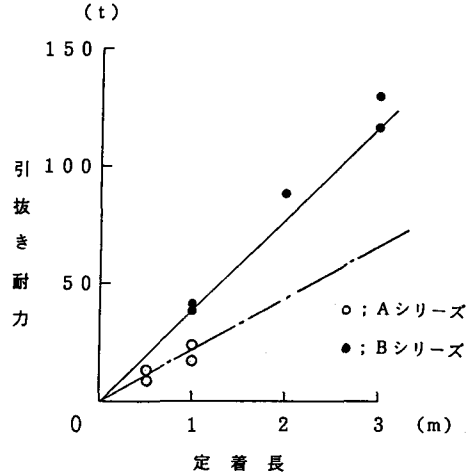


図-3 定着長と引抜き耐力の関係

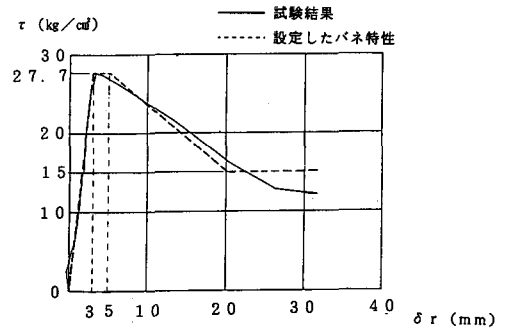


図-4 ストランドと定着モルタル間のバネ特性

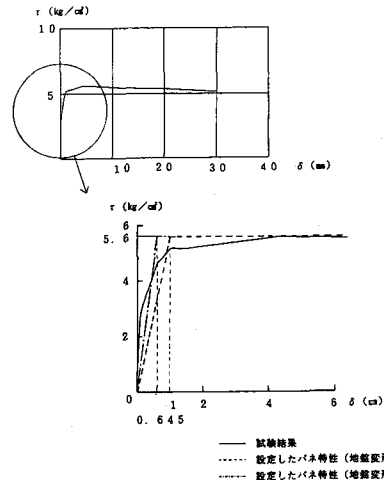


図-5 定着モルタルと地盤間のバネ特性

4. 梁-バネモデルによるシミュレーション

バネ特性設定試験によって得られた結果を用いてバネ特性確認試験を対象（ケースA-3、B-1）に梁-バネモデルによるシミュレーションを実施した。

ここでは実規模アンカーへの梁-バネモデルの適用を考慮して引抜きモード、引抜き耐力、荷重-変位関係について整理する。荷重-変位関係については、地盤変形分が考慮されていないため解析結果に対して先に算定した弾性変形分を加える必要がある。

バネ特性確認試験の内バネ特性設定試験と同じ付着深度で行ったケースA-3の引抜き試験についての検討を行った。図-6に示すように解析結果に対して地盤変形分を考慮した結果は試験結果をよく説明しており、引抜き耐力も良く一致している。なお引抜きモードについては、このケースの試験の目視及び歪測定の結果、定着モルタルと地盤間で引抜けており、解析結果も同様であった。従って同じ深度における実規模アンカーに対して設定した付着特性は十分適用できることが明確となった。一方バネ特性設定試験に比べ深度を深くし、かつ定着長も長くしたケースB-1について検討した。この際深度の違いによる拘束効果（図-3参照）を考慮し、試験より設定した定着モルタルと地盤間のピーク強度を1.6倍し、 $9\text{kg}/\text{cm}^2$ に変更して解析に用いた（図-7参照）。図-8に荷重-変位関係の解析結果と試験結果を示す。この結果もケースA-3同様解析結果に対して軸対称弾性有限要素解析によって算定した地盤変形分を加えることにより試験結果と比較した。引抜き試験の鉄筋棒による定着モルタルの絶対変形の計測結果は、引抜き荷重の初期載荷時の鉄筋棒の定着モルタルに対する追随性がやや悪いため絶対変位が多少乱れる。従って地盤変形分も加えた解析結果と試験結果はやや差異が生じるが絶対変位の計測精度を考慮すると良く対応していると判断出来る。また引抜き耐力、引抜きモードについても良い対応を示している。

以上の解析結果から①ここで提案したバネ特性の原位置における設定手法の実規模アンカーへの適用性を確認できたこと、さらに②幾つかある定着部の挙動を支配する要因の中から付着特性に着目した挙動の説明が実規模アンカーに対しても可能であることが示されたと言える。

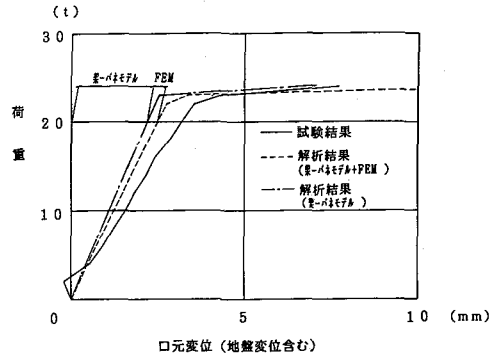


図-6 原位置試験結果及びシミュレーション結果
(ケースA-3)

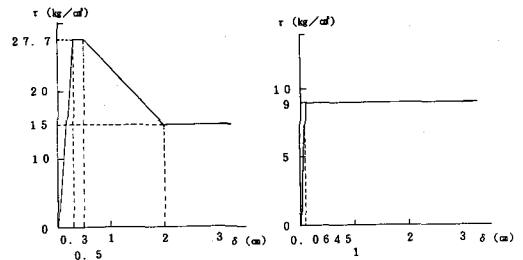


図-7 両付着面のバネ特性

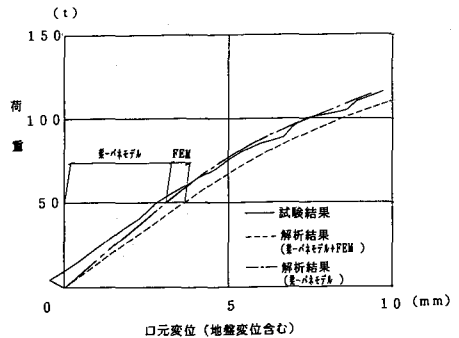


図-8 原位置試験結果及びシミュレーション結果
(ケースB-1)

5. 実規模アンカーの挙動に対する考察

実地盤に用いるアンカーは一般に定着長も長く、定着部の深度も深いものとなっている。この実規模アンカーに対して原位置試験によって得られたバネ特性（図-7 参照）を用いた梁-バネモデルを適用し、アンカー定着長とアンカー引抜き耐力の関係、荷重-変位関係について考察を加える。アンカー定着長と引抜き耐力の関係を求めるため定着長3.0m, 5.0m, 7.0m, 9.0mの引抜き耐力を算定したのが図-9である。定着長の増加に伴い引抜き耐力は比例的に増加するが、5m付近を越えると増加は小さい。これはこの西山地盤における実規模アンカーの有効定着長の存在を示すものであり、土質工学会基準等で設計上の留意点として述べられている傾向を定量的に確認する事ができた。この理由としては、ストランドと定着モルタル間の付着強度の歪軟化特性の影響が大きいことが挙げられる。なお引抜きモードは、定着長3mの場合は定着モルタルと地盤間で、定着長5m以上の場合はストランドと定着モルタル間で引き抜けており、定着機構に対する付着特性の影響が大きく、施工時にもこの点に留意する必要があると考えられる。また実施工でのアンカーの管理においては荷重-変位関係が重要であることから定着長9mの場合の荷重-変位関係を付着切れ進行状況と共に図-10に示す。同図の通り荷重-変位関係を付着切れ進展状況から三つのゾーンに大別でき、施工に当たってはアンカーの変位を計測することによって梁-バネモデルを介して定着部の応力伝達状況が把握でき、施工上の安全率も評価できるものと考えられる。

6. まとめ

以上の検討から次のことが明かとなった。

1. 原位置における付着特性を計測できる試験手法を提案することができ、梁-バネモデルに対するバネ特性を設定することができた。
2. 梁-バネモデルを用いることにより設計上必要な有効定着長と施工上必要となる管理曲線を定量的に把握することが可能となる。

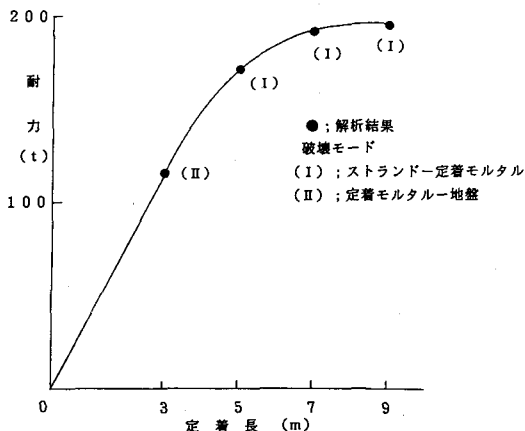


図-9 引抜き耐力と定着長の関係

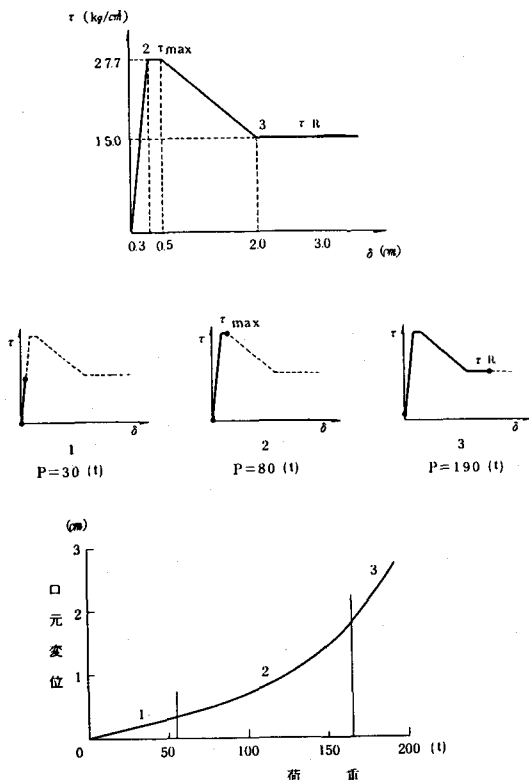


図-10 口元変位と載荷荷重の関係

【参考文献】

- 1) 岸清、黒田輝夫、伊藤文雄、アースアンカーの定着機構（その2）～梁-バネモデルの実地盤への適用～、土木学会第45回年次学術講演概要集、第三部門、PP. 942-943, 1990