

永久アンカーの実状

内 藤 清 司*

1. はじめに

グラウンドアンカーは、1950年代にヨーロッパにおいて開発実用化された工法で、すでに40年近くの歴史を有している。我が国では、それより10年ほど遅れて実用化されたが、当初まだ確立された工法ではなく、信頼性および経済的理由からあまり使用されなかった。しかし、削孔機がヨーロッパから導入され、削孔技術が改善されると急速に普及し始めた。特に1960年代後半からは、工法の有利性が認識されるとともにその用途も広がり、現在では年間3万本以上施工され、建設工事にはなくてはならない工法にまで成長した。グラウンドアンカーのうち、永久アンカーは、日本において使用されるようになってからまだ20年を経過したにすぎず、真の防錆システムを備えた永久アンカーの本格的な実施はこれからである。

ヨーロッパやアメリカなどでは、確実な防錆システムを備えた永久アンカーが盛んに用いられている。これはアンカー tendon を構成する、引張り鋼材の腐食に起因する破損事例が報告されたことを契機として、防錆用材料や防錆システムの研究・開発が積極的に行われたためである。

1986年、FIP (Fédération Internationale de la Précontrainte : 国際プレレストコンクリート連盟) グラウンドアンカー分科会の中に永久アンカーワーキンググループ (委員長: Dr. Littlejohn) が発足され、調査が行われた。そこで、世界各地で数百万本打設されてい

るといわれているグラウンドアンカーのうち、アンカーが施工されている現場の環境、破断原因、アンカーの防錆方法などに関して35件が報告され、これを踏まえて永久的なアンカー tendon として望ましい構造が示された。

我が国では、このような海外の実状を踏まえて本年(1989年)2月に、土質工学会から「グラウンドアンカー設計施工基準」(JSF規格:D1-88)の本文が「土と基礎」に発表された。この内容は、世界の動向や基準ならびに国内の施工実績を考慮して、永久アンカーとして具備すべき条件についても示されており、今後の国内の永久アンカーは、基本的にはこの基準に準じて計画、設計、施工が行われるものと思われる。

我が国における永久アンカーシステムは、各所で研究開発が進められ、すでに実用段階に入っている工法もある。しかしながら、従来からの施工技術が一般に浸透しているため、永久アンカーに関する研究開発の成果が十分に現場の技術者にまで伝達されていない。さらに設計や施工管理においてもアンカー工事量の増大に伴い、経験の浅い者が従事する場が多くなり、認識の不足などから永久アンカーシステムの使用にブレーキをかけている。また、アンカーの破損事例についても、我が国では殆んど公には報告されていないため、その経験から生まれてくるべき新たに改善された技術に乏しい。新基準の制定を契機に、新しい永久アンカーシステムの確立と積

表-1 引張り鋼材の腐食調査結果

調 査 項 目	件数(%)
調 査 件 数	永久アンカー 69 仮設アンカー 31
引張り鋼材の種類	PC 鋼線 53 PC 鋼棒 25 PC 鋼より線 22
アンカーの使用期間	6か月以内 24 6か月～2年 26 2年以上 47 31年 3
破 損 箇 所	アンカーヘッド付近 (背面1m以内) 45 自由長部 50 定着長部 5
防 錆 処 理 の 有 無	防錆処理されている 80 自由長部の防錆がされていない 20



* Kiyoshi NAITO
大成建設(株) 土木設計部

表-2 海外における破損事例(1)

(* Hd: アンカー頭部, Lf: アンカー自由長部, Lb: アンカー定着長部)

ケース番号	国名 施工時期 供用期間	永久・仮設別 構造物の種類 地盤条件	アンカーテン ドンのタイプ 作用荷重 (応力レベル)	防 錆 方 法*	腐食アンカー数 破 断 位 置	総 評
1	アルジェリア 1934年 31年	永久 ダム 安定 砂 岩	PC 鋼線 φ5mm×630本 P=1000 t (0.65 P _u)	Lf: グリースおよびアスファルト 充填防水シートを巻いた ジースでカバー Lb: セメントグラウトカバー	4本のアンカーテン ドン アンカーヘッドの背 面	水中に設置された防水シートがくり 返し引張り力によって引き裂かれ、ア スファルト混合物が溶出し、防護効果 がなくなり、局部腐食を起こした。防 食方法の不良による破壊。
2	フランス 1952年 半年	永久 ダム 安定 岩	マルチ PC 鋼線 1300 t (0.67 P _u)	Lf: グリースおよびアスファルト 充填防水シートを巻いた ジースでカバー Lb: セメントグラウトカバー	2本のアンカーテン ドン アンカーヘッドの背 面	アンカーテンドンに引張り力が作用 した状態で鋼材の応力腐食による破 断であった。
3	チェコ スロバキア 1955年 16年	永久 コンクリート ダム 安定 岩	PC 鋼線 φ4.5 mm 400 t	Lf: グリースおよびアスファルト 充填防水シートを巻いた ジースでカバー Lb: セメントグラウトカバー	4本のアンカーテン ドン アンカーヘッドの背 面	防護されていたにもかかわらず、ア ンカーテンドンは腐食していた。防食 方法の不良による破壊。
4	スウェーデン 1955年 26年	永久 地下発・天井 グレーンの桁 pH7.8の岩盤	PC 鋼棒 φ26 mm 30 t	Hd: アスファルトコーティング Lf } Lb } : セメントグラウトカバー	1本のアンカーテン ドン アンカーヘッドの背 面2.5m 地点の自由 長部	グラウトカバーには、損傷はなかつ たが、引張り鋼材には応力腐食による ものと思われる最大深さ1.3mmの点 食がみられた。
5	西ドイツ 1959年 10か月	永久 地下発電所 岩	PC 鋼線 弾性限界の74%	Hd: 防護なし Lf: アスファルトを含浸した麻 布で被覆	17本のアンカーテン ドン アンカーヘッド部5 本 アンカーヘッド背面 50 cm 以内5本 自由長部 7本	アスファルトシートがアンカーテン ドン挿入時に破損され、局部腐食をう けた。防食方法の不良。
6	アメリカ 1961年 2年	仮 設 仮締切ダム 海水中の岩盤	PC 鋼棒 φ35 mm	Lf: 防護なし Lb: セメントグラウトカバー	2~3本のアンカーテ ンドン 自由長部	蒸気機関車の石炭の燃えかすから発 生する硫酸を含む地下水と塩水により 引張り鋼材を腐食させ、ぜい性破壊を 生じた。
7	西ドイツ 1963年 5~6年	永久 河川堤防 土	PC 鋼線 φ8 mm×22本	Lf } Lb } : セメントグラウトカバー	3本のアンカーテン ドン グラウトとの境界部	グラウト被覆が不十分なところへ、 塩化物が侵入し、アンカーテンドン表 面に点食が生じ、応力腐食が起こった。 また、地盤の移動によるアンカーテン ドンの曲がりもみられた。
8	アルジェリア 1964年 数週間~1年	永久 アンカー式 ダム 砂 岩	PC 鋼線 φ7 mm×54本 196 t (弾性限界の75%)	鉛丹を混入したオイルを充填 ただし、アンカー頭部は防錆材 が充填されるまで数週間放置	数本の PC 鋼線 アンカーヘッドに固 定されたボタンヘッ ド部の鋼線	ボタンヘッドは、現場において冷間 加工されたことに起因する引張り応力 下のぜい性破壊。
9	イギリス 1965年 7~9年	永久 斜面安定 石灰岩	PC 鋼線 44本 200 t	Lf: アスファルトを充填 Lb: セメントグラウトカバー	3本のアンカーテン ドンのうち 24 本の 素線 アンカーヘッド背面 0.6~1.0 m 位置	湿気の多い環境での応力腐食。
10	西ドイツ 1960年 8年	永久 アンカー式擁 壁	PC 鋼線 φ5.2 mm	Lf: アスファルトを充填 Lb: セメントグラウトカバー	3本のアンカーテン ドン 自由長部	アスファルト防護が損傷をうけたと ころに点食が生じたための応力腐食に 伴う破断。
11	イギリス 1960年代 3か月	永久 トライドック の底版 岩	PC 鋼棒 0.67 P _u	Lf: 防護なし Lb: セメントグラウトカバー	2本のアンカーテン ドン 自由長部	点食が水素を誘発したことに起因す る応力腐食。
12	西ドイツ 1967~1968年 6~18か月	永久 地下貯水槽 岩	PC 鋼線 φ8 mm×18本 90~170 t	Lf: 化学充填材 不飽和脂肪酸ポリマー Lb: セメントグラウトカバー	133本のアンカーテ ンドン、殆どすべて 自由長部	化学充填材から浸出した硝酸塩イオ ンによる応力腐食。
13	スイス 1968年 3年以内	試験アンカー 地下発電所 岩	PC 鋼線 φ8 mm×12本 65 t	試験アンカーのため、防錆処理 なし 両端にアンカーヘッドを有する アンカーテンドンを削孔内に設 置	21本の PC 鋼線 アンカーヘッド間の 引張り力の作用区間	鋼材周囲の亜硫酸ガスが腐食の原因。
14	フランス 1968年 11年	永久 アンカーされ た基礎 石灰層	PC 鋼線 φ12 mm×8本 170 t (弾性限界の67%)	Lf: ポリエチレンチューブとセ メントグラウトカバー	4本のアンカーテン ドン	局部的に酸化され腐食し、引張り応 力下でのぜい性破壊。
15	西ドイツ 1969年 数日~100日	仮 設 鉄道擁壁 土	PC 鋼線 φ12.2 mm×6本	Lf: 防錆処理なし Lb: セメントグラウトカバー	3本のアンカーテン ドン 自由長部	鉄道レールから伝達された列車荷重 により、アンカーテンドンが曲げをう け、これに腐食が伴った応力腐食によ る疲労破壊。

表-2 (2)

ケース番号	国名 施工時期 供用期間	永久・仮設別 構造物の種類 地盤条件	アンカーテン ドンのタイプ 作用荷重 (応力レベル)	防 錆 方 法	腐食アンカー数 破 断 位 置	総 評
16	アメリカ 1968~1969年	永 久 アンカー式擁壁 有機質地盤	PC 鋼より線 φ12.7 mm 264 t	Lf: ベントナイトセメントグラウトスチールシースカバー Lb: セメントグラウトカバー	アンカーヘッドの背面	ベントナイトセメントグラウトが損傷をうけたところへ土中の硫化水素が侵入した鋼材のぜい性破壊。
17	アメリカ 1969年	永 久 アンカー式擁壁 粘土とシルト	PC 鋼棒 φ32 mm 63.6 t	Hd: 防護工なし Lf: グリースと紙, 合成樹脂製シースセメントグラウトカバー Lb: セメントグラウトカバー	8本のアンカー tendon アンカーヘッドの背面	防護されていない引張り鋼材が激しい点食をうけたことによるぜい性破壊。
18	フランス 1969年 数週間	永 久 アンカー式擁壁	異形 PC 鋼線 φ8~φ12 mm 103 t	Lf: セメントグラウトと鋼製シース Lb: セメントグラウトカバー	6本のアンカー tendon アンカーヘッドの背面 10~50 cm	アンカー tendon のぜい性破壊。 鋼線周囲の炭素不足。 アンカーヘッド周囲グラウトの不完全充填。
19	マレーシア 1969年 5年	永 久 岩盤の補強 岩 盤	PC 鋼線 φ7 mm×36本 70 t	Hd: ヘッドキャップ内にグリースを充填 Lf: ポリプロピレンのシース内にアスファルトを充填 Lb: ポリプロピレンのゴルゲートシース内にセメントグラウトを充填	アンカー tendon を構成する36本の PC 鋼線のうち, 33本が破断 アンカーヘッドの下端の裸の PC 鋼材	アンカーヘッド内部のアスファルト充填不良による PC 鋼線の応力腐食による破断。 地下水の pH 値が低かったことも一因と考えられる。
20	ニュージーランド 1970年 28か月	永 久 アンカー式擁壁 粘土下の砂岩	PC 鋼線 φ7 mm×42本 170 t	Lf: ポリプロピレンのシース内にマステックシーラントを充填 Lb: リブ付きアルカセンチュールとエポキシ樹脂で被覆	5本の PC 鋼線 アンカーヘッドの下端から 1.0~1.8 m の自由長部	マステック充填物が吸湿性であったこと, グリースがポリプロピレンのシースを融解, 軟化させたこと, 運搬中にシースを破損したことなどに起因して, 鋼材が腐食し破断したものと考えられる。
21	西ドイツ 1971年以前	仮 設 アンカー式擁壁	PC 鋼線 φ5.2 mm×42本	Lf: 防護被覆なし Lb: セメントグラウト被覆	2本のアンカー tendon 自由長部	PC 鋼線に, 著しい点食と部分的にひびわれが生じていた。 化学分析の結果, 硫酸塩 0.25% が検出された。
22	西ドイツ 1971年以前 1年	仮 設 アンカー式擁壁	PC 鋼線 φ5.2 mm	Lf } : セメントグラウト被覆 Lb }	5本のアンカー tendon 自由長部	セメントグラウトが付着していない部分が腐食し, 地盤の沈下に伴う変形と, 過大な応力発生によりぜい性破壊を起こしたと考えられる。 化学分析の結果, 硫酸塩 0.63% が検出された。
23	アメリカ 1971年 6週間	仮 設 アンカー式擁壁 酸性地盤	PC 鋼棒 φ32 mm	Lf: 防護被覆なし Lb: セメントグラウト被覆	4本のアンカー tendon 自由量部	応力腐食により PC 鋼棒にひびわれが発生した。
24	アメリカ 1971年 4週間	仮 設 アンカー式擁壁 低 pH 値の湿潤地盤	PC 鋼棒 φ35 mm	Lf: 防護被覆なし Lb: セメントグラウト被覆	自由長部	応力腐食により PC 鋼棒にひびわれが発生した。
25	南アフリカ 1972年 2年	永 久 片持ち梁式競技場スタンドの補強 埋め土	PC 鋼より線 φ12.2 mm×5本 45 t	Lf: アンボンド PC 鋼より線とポリエチレンシース被覆 Lb: セメントグラウト被覆	破断はなし ただし腐食, 点食が見られた 定着長部	掘出し確認の結果, 定着長部グラウトのかぶり厚さは 0~6 mm で, 深さ 1 mm 程度の点食が見られた。
26	ニュージーランド 1972~'73年 契約期間内	仮 設 アンカー式擁壁 粘土とシルト下の砂岩	PC 鋼線 49~105 t (0.5 P _u)	Lf: 防護被覆なし Lb: セメントグラウト被覆	不 明	PC 鋼線の腐食と, 地盤の変動によりアンカー tendon に過大な引張り力が作用したことにより破断した。
27	イギリス 1973年 11年	永 久 橋台の補強 埋め土下の粘性土と軟岩	PC 鋼より線 φ15.2 mm ×4~5本 35 t(0.5 P _u)	Hd: 防護被覆なし Lf: アンボンド PC 鋼より線とポリエチレンシース被覆 Lb: セメントグラウト被覆	2本のアンカー tendon アンカーヘッドのすぐ背面	応力腐食に伴う破断
28	ニュージーランド 1974年	永 久 アンカー式橋台 岩 盤	PC 鋼線 φ7 mm×34本 100 t(0.5 P _u)	Lf: ポリプロピレンシース被覆 Lb: コルゲートシースとセメントグラウト被覆	不 明	PC 鋼線の保管が不完全のため, 腐食したこと, 自由長部のシースが運搬中に破損し, マステック充填材が漏洩して PC 鋼線が腐食し, 破断した。
29	アルジェリア 1974年 5年	永 久 コンクリートガムの嵩上げ コンクリート	PC 鋼より線 φ15.2 mm ×36本	Lf: シース内にアクリルアミドを充填被覆 Lb: コルゲートシースとセメントグラウト被覆	アンカーヘッドのすぐ背面	アンカーヘッドの背面には, タールエポキシが充填されていたが, 充填不良により, PC 鋼より線が腐食し, 破断した。

表—2 (3)

ケース番号	国名 施工時期 供用期間	永久・仮設別 構造物の種類 地盤条件	アンカーテンドンのタイプ 作用荷重 (応力レベル)	防 錆 方 法	腐食アンカー数 破 断 位 置	総 評
30	フランス 1975年 6か月	仮設 アンカー式擁壁	異形PC鋼棒 φ32mm 64t (弾性限界の74%)	Lf: ポリエチレンシース被覆 Lb: セメントグラウト被覆	2本のアンカーテンドン アンカーヘッドの背面 3mと8mの位置	アンカーテンドンの引張り応力下におけるぜい性破壊。
31	スイス 1976年 5年	永久 パイプ橋のアンカー式橋台 砂と岩盤	PC鋼より線 φ12.7mm ×10本 113t~115t	Lf: ポリエチレンシース内にアスファルトを充填 Lb: セメントグラウト被覆	3本のアンカーテンドン 自由長50cmを含む 定着長部	定着長部グラウトの不良により、PC鋼より線が腐食し破断した。 地盤内の硫酸塩と塩化物を含んだ地下水に、PC鋼材がさらされていた。
32	ホンコン 1977年 3年以内	永久 アンカー式擁壁 花崗岩	PC鋼より線 φ12.9mm ×7本 105t	Hd: コンクリート被覆 Lf: プラスチックシースとグリースで被覆 Lb: セメントグラウト被覆	1本のアンカーテンドン アンカーヘッドのすぐ背面と自由長部	アンカーヘッドの背面に防護被覆がなく、アンカーテンドン緊張定着後、コンクリート被覆されるまでの放置期間が長かったため、PC鋼より線が腐食し、破断した。
33	西ドイツ 1977年 4か月	仮設 アンカー式擁壁版 スラグと灰混り盛土	PC鋼棒 φ32mm	Hd: 防護被覆なし Lf: ポリエチレンシース被覆 Lb: セメントグラウト被覆	2本のアンカーテンドン アンカーヘッドの背面 5cmの位置と自由長部の中央付近	防錆処置の不備と硫酸塩の供給によってPC鋼棒を腐食させ、地盤の沈下に伴って、過大な引張り力と、曲げ応力が作用したことによるぜい性破壊。
34	南アフリカ 1978年 4年	永久 斜面安定 風化堆石岩	PC鋼より線 φ15.2mm ×4~6本 59~89t (0.60 P_u)	Hd: グリース充填またはセメントグラウト充填 Lf: PVCシースとグリース被覆 PC鋼より線 Lb: セメントグラウト被覆とエポキシコーティング	2本のアンカーテンドン アンカーヘッドの下端部	アンカーヘッド部の防錆処置の不備と、アンカーから15~20mの距離に電車軌道があり、迷走電流の影響によって、PC鋼より線が腐食し、地盤の変動によってアンカーテンドンの引張り力が約20%程度増大したことにも起因している。
35	ホンコン 1980年 1~3年	永久 岩盤補強盤	PC鋼棒 50~65t	Lf: セメントグラウトとシースによる被覆 Lb: スによる被覆 鋼棒の接続部: グリース被覆	10本のアンカーテンドン アンカーヘッドの背面 20mの以内の接続部付近	アンカーケーブルの加工不良により、グラウトやグリースがPC鋼棒に接していなかったために腐食し、点食と水素ぜい性により破断した。

極的な実施が望まれると同時に、過去に打設されたアンカーの調査や維持管理についても具体的に検討し、実施されることが望まれる。

2. 腐食の実態

FIPの「腐食に関する調査結果」を表—1~2に示す。この調査結果から、特に注目すべき下記の事実が判明した。

- ① 防錆処置が不十分な場合、アンカーの使用期間が短期間(2年以下)であっても、引張り鋼材は腐食によって破損される可能性を有している。
- ② 破損箇所は、自由長部に集中している。中でもアンカーヘッド付近が特に多い。
- ③ 破損原因の殆んどが、アンカーの防錆処理の不完全さによる。

①は、アンカーが打設されたところの周囲環境と防錆処理に関する問題で、特に防錆処理を施していない7件のうち5件は施工後3か月以内という短期間に腐食し、破損したものである。いずれも仮設アンカーであることから腐食に対する対策を軽視したものと考えられ、これは、いかに短期であっても、周囲環境によっては防錆処理が必要であることを示唆している。

②は、アンカーテンドンの腐食に対する構造上の弱点

を顕著に示しており、アンカー定着長部はグラウトによって固定、被覆されているので、意外に腐食・破損は少ない。その多くは自由長部において、それもアンカーヘッドの背面に生じていることは、いかにその部分の防錆処理がおろそかにされているかがわかる。

③は、確実な耐食材料による完全な防錆処理の必要性を示している。破損事例の中にはアンカーテンドンの加工不良もあるが、多くは使用材料の品質不足と構造的に不完全であったことが原因と思われる。

3. 永久アンカーの防食と基準

3.1 防食用材料

前述の土質工学会「グラウンドアンカー設計施工基準」によると、腐食環境に関して十分に調査し、適切な防食方法を選定しなければならないとされており、また、アンカー体、引張り部、アンカー頭部それぞれに対して、基本的な防錆処理条件を示しており、特にアンカーテンドン全長にわたってダブルプロテクションを義務づけている。ダブルプロテクションとは、アンカー用鋼材を二重に防護するもので、二重防護材料の1つとして有効と思われるものの一例を表—3に示す。ただし、これらの材料の使用に際しては、防食性、耐久性、長期安定性などを検討したうえで用いなければならない。防錆用材の

表—3 ダブルプロテクションの一つとして有効と思われる材料

位置	材料	コンクリートまたはセメントグラウト	防 錆 油	合 成 樹 脂	鋼 材
頭 部	○ (被覆コンクリート)	○ (被覆コンクリート)	○ (オイル系で体積変化のないもの)	○ (ヘッドキャップ)	○ (ヘッドキャップ) (要防錆処理)
自 由 長 部	○ (グラウト ただしカプセル内のみ)	○ (グラウト ただしカプセル内のみ)	○ (オイル系で体積変化のないもの)	○ (スモースシーズ コルゲートシーズ アンボンドシーズ)	○ (シーズ 要防錆処理)
定 着 長 部	○ (グラウト)	○ (グラウト)	—	○ (コルゲートシーズ)	○ (シーズ, 耐荷体) (要防錆処理)

表—4 地盤の腐食度規準 (FIP より)⁴⁾

比抵抗値 (Ωcm)	レドックスポテンシャル値	腐 食 度
700	100 以下	大
700~2000	100~200	中
2000~5000	200~400	小
5000 以上	430 以上	微小, 無

表—5 地盤の酸性度に対する規準 (FIP より)⁴⁾

pH 値	使 用 条 件
5.5 以上	地下水が停滞している場合、良質のグラウトであれば浸食されない。
5.5~3.5	水密性グラウトを使用すること。微粉燃料灰 (pfa) や高炉スラグは効果的である。
3.5 以下	ポルトランドセメント系グラウト以外の防錆効果のある注入材料を使用しなければならない。

表—6 不適地盤 (FIP より)

① 地下水の pH < 6.5 の地盤	④ MH_4^+ 含有量 > 15 mg/l
② 硬度 < 3°d	⑤ Mg^{2+} 含有量 > 100 mg/l
③ CO_2 含有量 > 15 mg/l	⑥ SO_4^{2-} 含有量 > 200 mg/l

種類および具備すべき条件については、文献 1) と 5) に示されている。

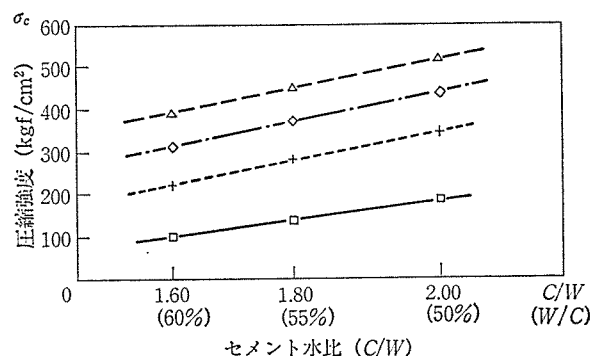
3.2 地盤の影響

アンカーテンドンは、地盤内に打設されるので、地盤や地下水の化学的な影響をうける。したがって、腐食環境に関する調査は、主として地盤や地下水に対して、その成分や化学的性質について行い、アンカーとしての機能を長期間、損なうことがないか否かを検討しなければならない。FIP によると、比抵抗値および酸化還元ポテンシャル値と腐食度に関する基準値を設けているので、表—4 に示す。したがって、地盤がアンカーテンドンに及ぼす腐食の度合は、地盤の比抵抗値と酸化還元ポテンシャル値を測定することによって推定することができる。また、地盤の酸性度に関する基準値については、表—5 に示す。

このほかに、アンカー体の設置地盤として好ましくない条件として、表—6 に示す基準を定めている。

3.3 グラウトの防錆効果

鋼材は、pH 11~13 のアルカリ環境下では腐食の進行が非常に遅いことが知られている。硬化したセメント



□材令1日, +材令3日, ◇材令7日, △材令28日

図—1 圧縮強度とセメント水比との関係図 (混和剤A使用)

グラウトは、pH 12.5 前後であり、これに被覆された鋼材は周囲環境がよほど悪くない限り、また硬化したセメントグラウトに有害なひびわれが入らない限り、腐食に対する影響はさほどないと言われている。有害なひびわれについての基準は、コンクリート構造物の鉄筋の腐食に対しては種々見られるが、グラウンドアンカーに関しては明確なものはない。B.S-DD 81 や FIP 指針によるとアンカーグラウトのひびわれ幅は 0.1 mm 以下とされている。アンカーが供用されている期間中にひびわれ幅を測定することは困難であり、掘り出して確認することも不可能である。しかし、周辺地盤の拘束条件が良い場合や良質のグラウトであれば有害なひびわれは発生しないとされている。

また、FIP では、永久アンカーにおけるカプセル内のグラウトはブリージング率 0.5% 以下が望ましいとしている。これらを考慮したアンカーグラウトの配合と性質に関する試験結果を表—7 および 図—1 に示す。混和剤は A と B 2 種類を使用し比較しているが、いずれの結果もアンカーグラウトの配合としては十分満足できるものであるが、特にブリージングをきらう場合は、混和剤 A を用いた配合をすすめる。

4. 永久アンカーシステムと維持管理

永久アンカーは、海外はもちろんのこと我が国においても現在さかんに研究開発が行われており、基準化も進

表-7 アンカーグラウトの試験結果

混和剤		水セメント比 W/C (%)	Pロート 流下時間 (秒)	テーブル フロー (mm)	グラウト 温度 (°C)	ブリージング率 (%)		圧縮強度 (kgf/cm ²)			
種類	使用量 (C _x %)					3時間	24時間	1日	3日	7日	28日
A	1.0	60	14.7	—	22.0	痕跡 (0.1 以下)	0	100	219	310	391
		55	17.6	—	22.0	痕跡 (0.1 以下)	0	133	281	374	450
		50	36.3	—	21.0	痕跡 (0.1 以下)	0	244	336	418	497
		45	97.0	—	21.0	0	0	312	404	477	545
		40	—	245	21.5	0	0	377	463	525	592
B	2.0	50	11.4	—	21.5	0.46	0	250	346	416	510
		45	14.0	—	21.0	0.32	0	325	408	483	563
		40	28.0	—	22.0	0	0	379	467	534	608

* ただし、セメントは早強ポルトランドを使用、養生温度 20°C、供試体寸法 φ50×φ100 mm

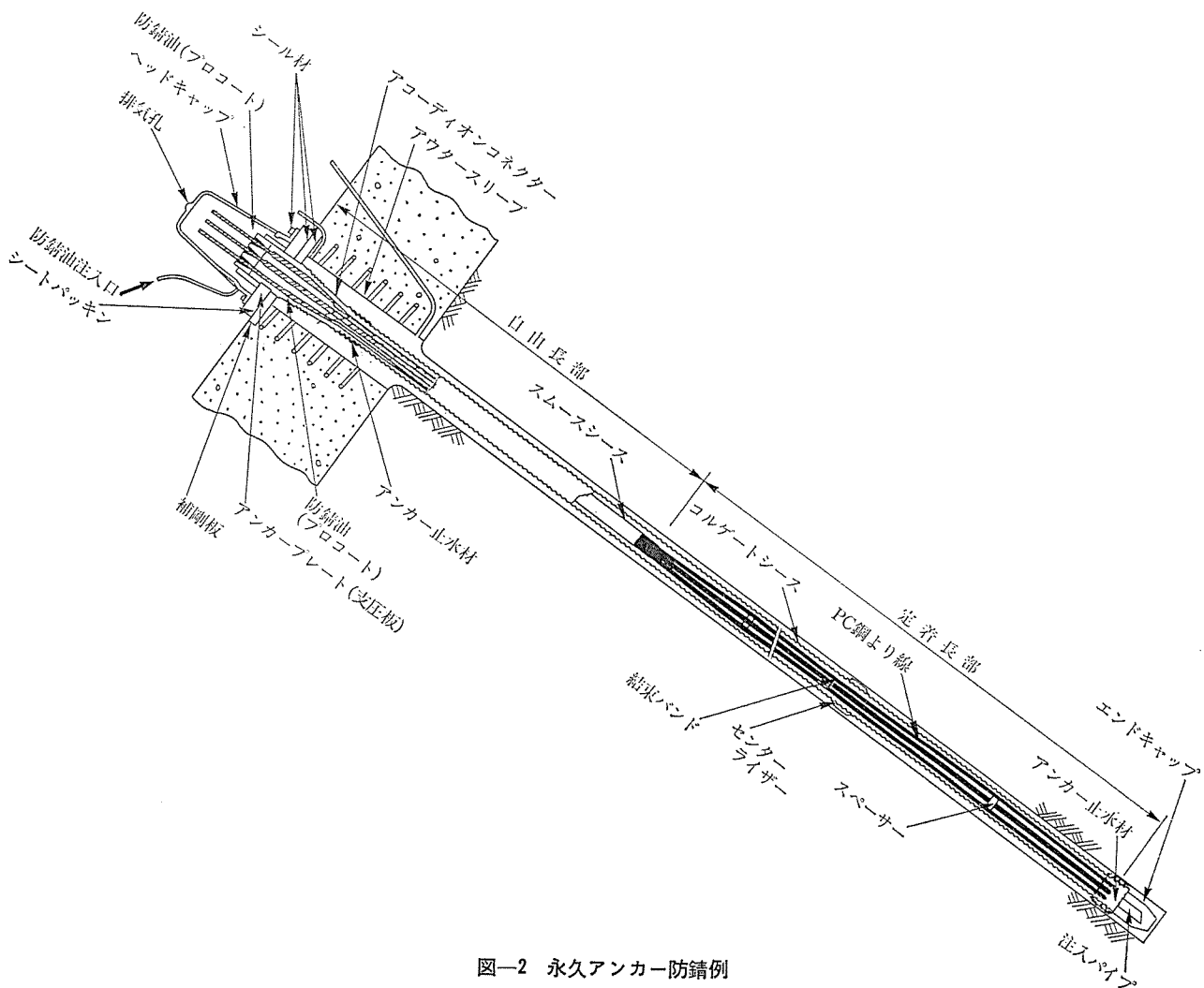


図-2 永久アンカー防錆例

んでいることから、急速に普及していくものと考えられる。すでに実用化されている永久アンカーシステムはいくつかあるが、代表的な一例を図-2に紹介すると同時に、このシステムが有する特徴を表-8に示す。

また、国内における永久アンカーの適用事例を写真1~4に紹介する。

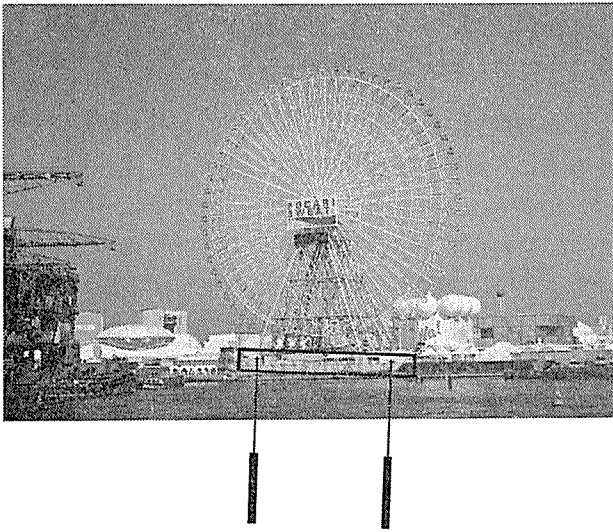
今回改訂された土質工学会の基準では、維持管理として、点検、観測、および測定を行うことを原則としている。その項目は次のとおりである。

- ① アンカーに生じている荷重および変化
- ② 構造物の変位および変状
- ③ アンカー頭部の変状および腐食状況
- ④ 地下水位
- ⑤ その他

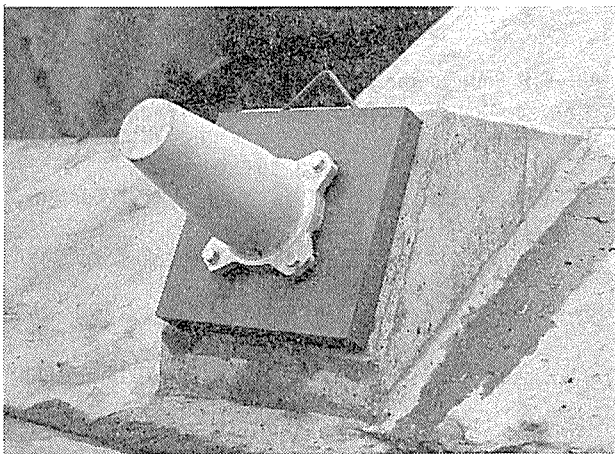
また、維持管理の方法と頻度については、責任技術者が種々の状況を考慮し、これを定めるとしているが、具体的には解説で述べられる予定である。今後、永久アンカーの施工量が増えるにつれて適切な維持管理が望まれ

表—8 永久アンカーの特徴

- ① 頭部はヘッドキャップと防錆油で被覆されている。
- ② 防錆油はヘッドキャップ注入口より補充可能である。
- ③ 支圧板背面は、アコーディオンコネクタのフランジを支圧板と補剛板との間に挟み込みシールすることにより完全な防錆構造となっている。
- ④ アンカー tendon 自由長部および 定着長部は全長にわたってポリエチレンコルゲートシースで被覆されている。
- ⑤ アコーディオンコネクタとコルゲートシースは、ねじ込み式で接続されアンカー止水材で完全接着されている。
- ⑥ 自由長部の PC 鋼材はスモースシースで被覆され、あるいはアンボンド加工されている。
- ⑦ コルゲートシース先端部は、エンドキャップにより電氣的腐食を防止すると同時に、注入ホースを保護している。



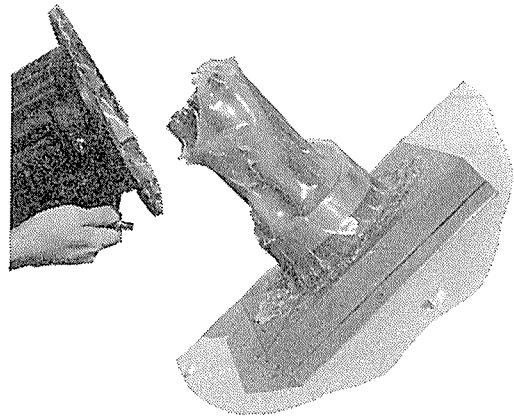
写真—1 観覧車の転倒防止用アンカー（永久アンカー仕様の除去式アンカーを採用）



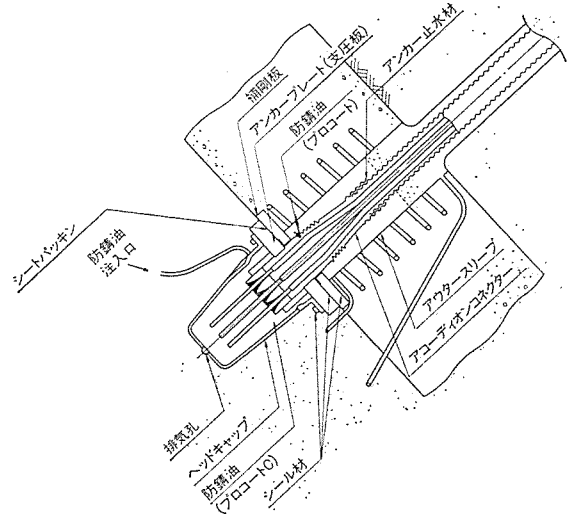
写真—2 アルミ合金製ヘッドキャップ



写真—3 合成樹脂製ヘッドキャップ内に防錆油を注入



写真—4 アンカー頭部・防錆油の充填状況



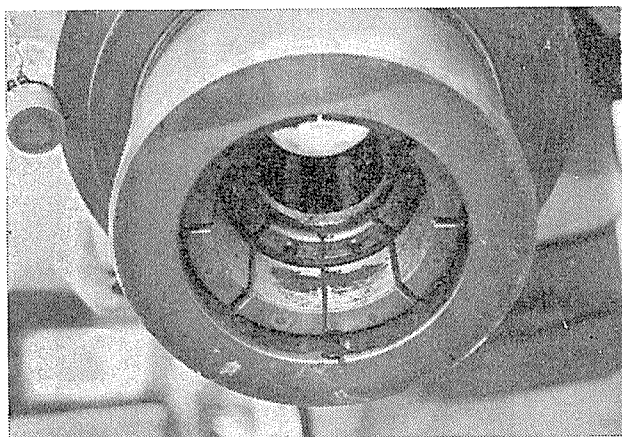
図—3 アンカー頭部詳細図

てくる。一方、既設アンカーの調査、診断に関する技術はまだ確立されていないのが実状である。表—9 に調査診断項目の一例を示す。先に述べたように、我が国でも最近になってようやく実態調査が行われるようになった。その内容は、前述の 5 項目について実施されているほかに、写真—5、6 に示す特殊なメンテナンスジャッキ

の開発や超音波を利用した非破壊検査などが試みられている。しかし、検討課題も残されており、特に地中深く埋設されたアンカー tendon の健全性を診断する技術は今後の研究に期待されており、早期実用化が望まれている。

表—9 調査診断項目の例

	試験名	使用機器	目的
現場	打撃音診断	・ハンマー ・録音器	キャップコンクリート、頭部定着具等の浮き上がりおよび異常の確認
	目視調査	・ファイバースコープ ・スケール ・ルーペ ・試薬	PC鋼材、頭部定着具等の突出長、変形、錆の状態、観察およびキャップコンクリートの中性化深度調査
	非破壊検査	・探傷器	頭部背面付近のPC鋼材の腐食検査
室内	荷重計測	・ジャッキ ・静ひずみ測定器 ・変位計 ・圧力計	有効緊張力の測定と設計耐力の確認
	PC鋼材	・アムスラー ・硬度測定器 ・顕微鏡	引張強度、降伏強度、伸び、絞りおよび硬度測定と金属組織検査
室内	地下水	・pH測定器 ・成分分析試薬	酸性度および比抵抗値の測定と有害物質検査



写真—5 アンカーヘッド締付け部分（アンカーヘッドをつかんで緊張する）

5. あとがき

アンカーテンドンの腐食度や周囲環境条件について明確に数値で示した基準は我が国には存在しない。これは実態調査があまり行われていないことにも起因していると思われるが、最近、徐々にデータが集積されてきている。その内容も、アンカー頭部の健全度、有効緊張力、周囲環境の状況など種々の項目について行われている。



写真—6 メンテナンスジャッキ

これらの調査結果や海外における調査データや基準などを参考に、我が国独自の基準を制定する必要がある。すでに確立されている永久アンカーシステムは、アンカー頭部、自由長部、定着長部にわたり、アンカーテンドン全体を完全に防護する構造となっており、長期耐久性についても実証されている。この新しい永久アンカーシステムを使用することによって腐食や破損を未然に防ぐことができるため、本システムを積極的に採用できる環境が整えられることを望み、永久アンカーがますます発展することを期待する。

最後に、御多忙の中、資料提供ならびに御助力を賜りました日特建設（株）橋本彬氏、山田浩氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) FIP State of the art report, "Corrosion and corrosion protection of prestressed ground anchorages," 1986
- 2) グラウンドアンカー設計施工基準（JSF規格、D1-88）、土と基礎、Vol. 37, No. 2, 1989.2
- 3) VSL 永久アンカー工法設計施工指針（案）、VSL協会、昭和63年8月
- 4) 内藤清司、ほか：アンカーの腐食と防食例、基礎工、Vol. 15, No. 12, 1987.12
- 5) 内藤清司：アンカー工施工の現況と問題点、地すべり学会シンポジウム、1987.11

【1989年4月18日受付】