

グラウンドアンカーの効率的な維持管理手法に関する研究

研究予算 : 運営費交付金 (一般勘定)

研究期間 : 平 21～平 24

担当チーム: 地質・地盤研究グループ 施工技術チーム

研究担当者: 宮武裕昭, 藤田智弘

【要旨】

グラウンドアンカーは、自然斜面や切土、構造物等の安定化を図る目的で用いられ、1957年に我が国において導入されて以来、すでに50年あまりの使用実績を有している。この間、施工技術、防食技術や使用材料などの改良が重ねられ、1990年代より多くの道路斜面で実績を増やしている。また、使用用途も急斜面盛土、土留め等にも使われるようになってきている。

しかし、近年ではアンカーの引張り材（テンドン）の破断や斜面・構造物の変状等の問題が見られる。これらは、斜面・構造物等の安定のみならず、アンカーやその付属物落下により第三者に被害を及ぼす危険性が懸念される。しかし、アンカーが施工された斜面や構造物は、対策済みの斜面・構造物として取り扱われ、日常の維持管理の対象とされることが少なかった。このため、アンカーの維持管理や健全性評価に関する統一的な考え方が整理されておらず、問題が発生した場合に現場毎に対応することが多かった。

そこで、独立行政法人土木研究所と社団法人日本アンカー協会は、2008年にグラウンドアンカー維持管理マニュアル¹⁾を発刊し、グラウンドアンカーの維持管理の統一的な考え方を示した。アンカーの効率的な維持管理に向けた課題として、予防的対策工等の定量的・定性的な効果が明らかになっていないことから、現場で予防的対策が積極的に実施されていないこと等が挙げられる。そこで、アンカーの破断原因として多数報告されている²⁾腐食の中でも、遅れ破壊という腐食による破断の形態を対象として、予防的対策工である防錆油交換をどのタイミングで行えばどの程度の効果が得られるのかの定性的な効果を明らかにすることを目的に、アンカーの遅れ破壊の再現実験を実施した。その結果、PC 鋼棒が設計アンカー力で破断する危険性を回避するためには、腐食による断面欠損が数%に至る前に防錆油を交換する必要があることが分かった。

キーワード: グラウンドアンカー, 維持管理, 腐食, 防錆油交換

1. はじめに

近年、グラウンドアンカーにおいてアンカーの破断等の打第三者被害に繋がる恐れのある問題が見られてきている。アンカーの破断の主な原因は、アンカーの腐食である。アンカーの腐食は、防食が不十分な旧タイプアンカーにおいて大きな課題であったが、設計・施工基準の改訂等により二重防食等が行われるようになり防食機能が改善された。その結果、特に道路での施工実績が大幅に増加するようになった。しかし一方では、近年になり防錆油の劣化等が確認されるようになってきており、放置すれば防錆油劣化によるアンカーの腐食が大きな問題になることが予想される。

グラウンドアンカー維持管理マニュアル¹⁾では、定期点検により異常が確認された場合には、健全性調査必要性有無の判定手法を示しており、アンカーに健全性に関わる変状が確認される場合には、健全性調査を実施することとなっている。健全性調査では、防錆油の劣化に関す

る調査も調査項目の1つとなっており、防錆油の劣化が確認された場合には防錆油が劣化することに至った原因を取り除いた後に、新たな防錆油と交換することになっている。

しかし、アンカーに対する防錆油交換の定量的な効果は明らかになっていないため、現場では積極的に防錆油が交換されていないのが現状である。また、アンカーにおける腐食は、静的な荷重が継続的に負荷される環境下で腐食が起こるため、ほとんど塑性変形を伴わずに破壊する遅れ破壊という現象を引き起こすことがあるため、定期点検で異常を確認することが困難な現象と言える。

そこで、本研究では遅れ破壊という腐食による破断の形態を対象として、予防的対策工である防錆油交換をどのタイミングで行えばどの程度の効果が得られるのかの定性的な効果を明らかにすることを目的に、アンカーの遅れ破壊の再現実験を実施した。

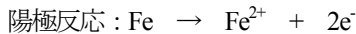
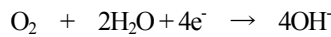
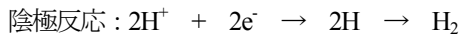
2. アンカーの遅れ破壊の再現実験

遅れ破壊によるアンカー破断の兆候、腐食したアンカーの残存耐力を把握することを目的に、PC鋼棒の腐食試験体を作製し、腐食程度の計測および腐食試験体の引張り試験を行った。

以下に、実験概要と実験結果について報告する。

2. 1. 実験概要

PC鋼棒の腐食試験体は、現場の条件を再現するために、PC鋼棒に引張力を負荷した環境下で作製した。静的な荷重が継続的に負荷される環境下で腐食させることで、以下の式で示す陰極反応と陽極反応による水素脆性割れおよび応力腐食割れによる断面欠損を生じさせ、現場で起きているPC鋼棒の破断形態のひとつの遅れ破壊と言われる破断形態を再現する。



具体的には、 $\phi=32\text{ mm}$ (B種1号, 耐力: $1,076\text{ N/mm}^2$, 引張強さ: $1,219\text{ N/mm}^2$) のPC鋼棒に 388.2 kN (極限引張力の 0.6 倍) の引張力を油圧ジャッキでかけた状態でナットにより固定器具に固定したうえで腐食させた (写真-1) (図-1)。

腐食方法は、平成14年～17年度に土木研究所で実施した「アースアンカーの健全性診断・補強方法に関する研究」による腐食方法と同じ方法とした。ポリカーボネイト性の容器に 90°C の $20\text{wt}\%$ 硝酸アンモニウム溶液を入れ、PC鋼棒の中心 150 mm の箇所を溶液に浸すことで急速に腐食させた。PC鋼棒を溶液に浸す時間等を変えて計14本のPC鋼棒腐食試験体 (以下、「試験体」という。) と破断するまで腐食させた1本のPC鋼棒腐食試験体 (以下、「破断試験体」という。) を作製した。

また、腐食したアンカーの強度を定量的に示すことを目的に、試験体の引張り試験を実施した (写真-2)。引張り試験は、万能試験機を用いて行った。引張速度は、JIS G 3109 に定められている規定速度範囲内 (約 $5\text{ N/(mm}^2 \cdot \text{sec)}$) で破断に至るまで試験体に引張力を加えた。



写真-1 腐食試験体作製状況

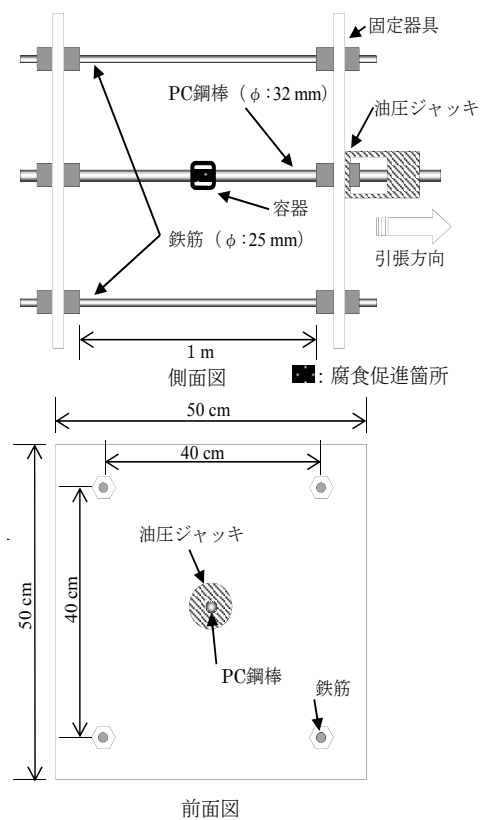


図-1 腐食試験体作製概図



写真-2 引張り試験状況

さらに、腐食進行中のアンカーの腐食の度合いを定量的に示すことを目的に、試験体の弾性波速度および断面欠損率の計測を実施した。弾性波速度は、測定装置（写真-3）を用いて、引張り試験前の試験体を伝わるP波速度の測定を実施した。また、断面欠損率は、引張り試験後のPC鋼棒の破断面から画像解析により抽出した。具体的には、引張り試験後のPC鋼棒の破断面画像をデジタルカメラで撮影し（写真-4）、腐食による断面欠損箇所（写真の黒色部）と引張り荷重による破断箇所（写真の灰色部）の面積比率をピクセル数から算出することで抽出した。



写真-3 測定装置



写真-4 PC鋼棒の破断面画像

2. 2. 実験結果

作製した14本の試験体の腐食促進させた箇所の外観は写真-5のとおりである。これらの試験体の引張り試験により得られた、荷重-変位の関係を図-2に示す。ここで、変位は歪ゲージで計測した歪の値に引張り試験開始時の鋼棒の長さを掛けた値とし、変位は歪ゲージの測定限界のため10mmまでを表示する。No.2～No.9の試験体は、破断前に塑性変形をほとんど伴わない脆性破壊により破断することを確認した。試験体の最大引張り荷重を整理すると、表-1のとおりとなった。

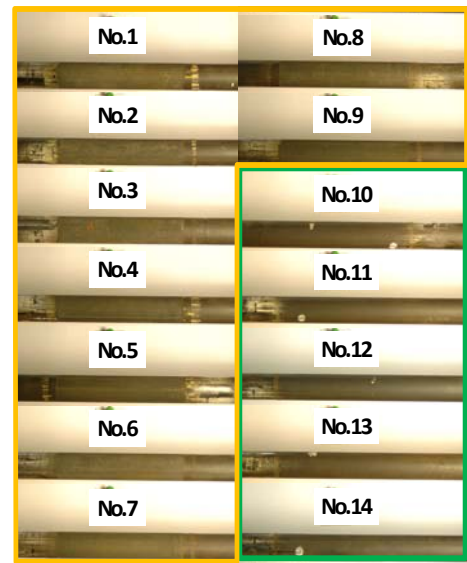


写真-5 試験体

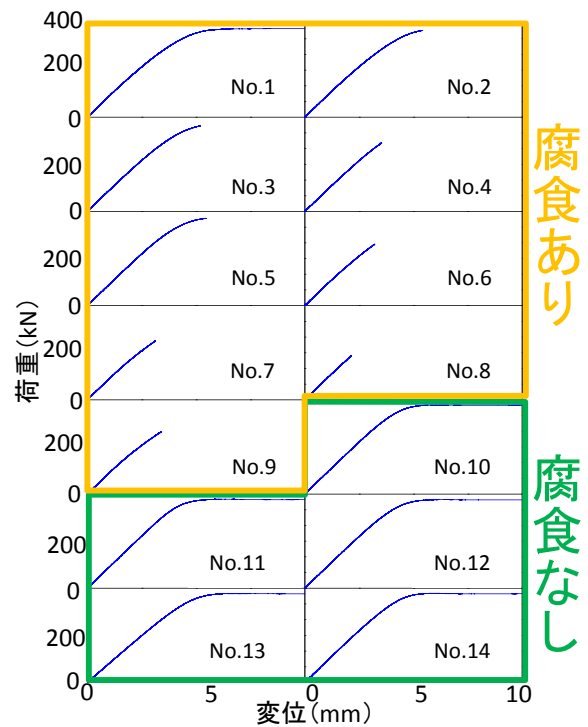


図-2 引張り試験の変位-荷重関係※
※途中でプロットがないものはその時点で破断

表-1 最大引張力

	最大引張力 (kN)		最大引張力 (kN)
No. 1	659.2	No. 8	543.2
No. 2	651.8	No. 9	435.8
No. 3	650.8	No. 10	555.4
No. 4	655.6	No. 11	391.8
No. 5	657.6	No. 12	375.2
No. 6	595.0	No. 13	280.4
No. 7	552.8	No. 14	397.2

試験体の引張り試験後の PC 鋼棒の破断面と現場から採取した遅れ破壊で破断した PC 鋼棒の破断面の比較を写真-6 に示す。腐食促進を行った No. 1～No. 9 の試験体は、前述の通り塑性変形をほとんど伴わないため、破断面に絞りが無いのが特徴である。一方で、腐食促進を行わなかった No. 10～No. 14 の試験体は、破断面に絞りがあるのが特徴である。現場から採取した遅れ破壊により破断した PC 鋼棒の破断面も、破断面に絞りが無い。

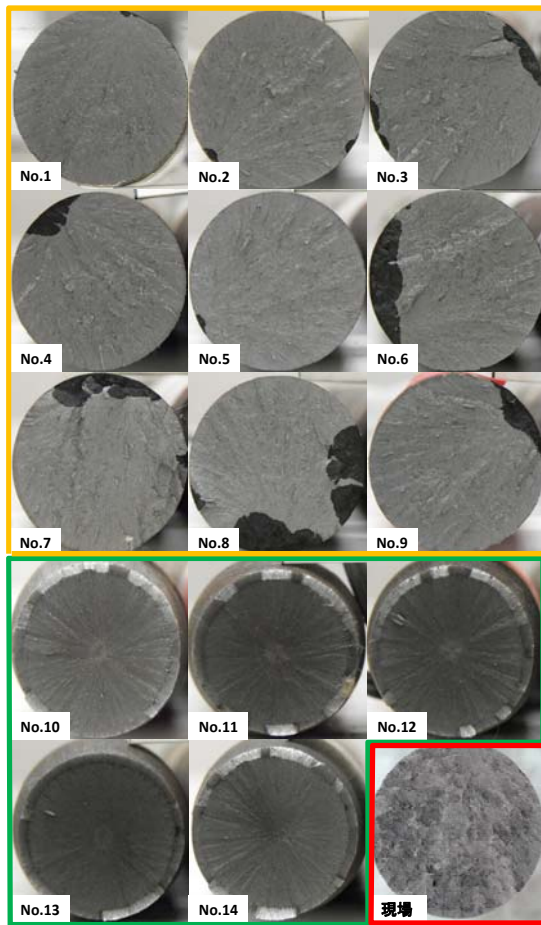


写真-6 PC 鋼棒破断面の比較

また、写真-7 に示すように、No. 1～No. 9 の試験体と現

場から採取した遅れ破壊で破断した PC 鋼棒には共通して黒色の断面欠損箇所が存在する。また、写真-8 は試験体と同様に緊張力を加えた状態で腐食促進を行い破断にまで至った PC 鋼棒と現場から採取した遅れ破壊で破断した PC 鋼棒の破断面の比較を示す。どちらも共通して横から見て直線的な切り口になっている。断面欠損や絞りを伴わない破断形状から判断して、本実験は現場で確認されている遅れ破壊の破断形態を再現できていると考える。

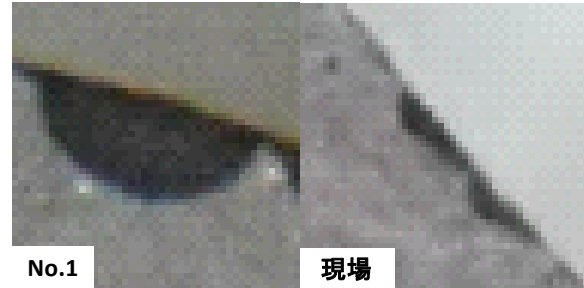


写真-7 PC 鋼棒の欠損箇所

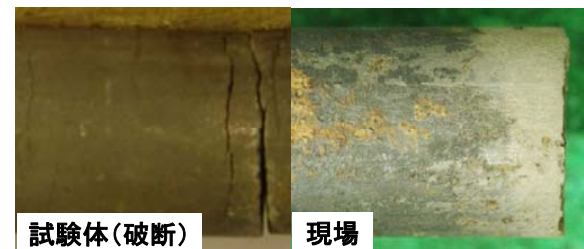


写真-8 PC 鋼棒の破断面

次に、引っ張り試験前の試験体で弾性波速度を測定した結果と破断面から算出した断面欠損率を表-3 に示す。図-3 に断面欠損率と弾性波速度の関係を散布図で示す。同図に示したように断面欠損率と弾性波速度は、ピアソンの積率相関係数が 0.5 程度と低い相関関係を示している。弱い相関性を示す理由としては、弾性波速度は PC 鋼棒の全体的な変状を測る物理量であるが、腐食による断面欠損が弾性波速度の変化として顕著に表れないことが考えられる。本研究で腐食の程度を計測する目的は、アンカーの残存耐力を知ることである。そこで、破断前の最も弱い箇所の腐食断面欠損率をどのように計測するかは今後の課題として、腐食の程度の指標については断面欠損率を採用し、引張試験で得られた最大引張力との関係を整理した。図-4 は断面欠損率と最大引張荷重の減少率の関係を示したものである。腐食による最大引張荷重の低下は、断面欠損率の低下に比べて大きい。例えば、

地盤工学会基準に定められた tendon の許容引張り力 (地震時 $0.9T_{ys}$ 、 T_{ys} : 降伏引張り力) を最大引張荷重が下回らないうちに検知するためには、断面欠損率が数%に満たないうちに検知する必要がある。一方で、土木研究所で別途実施した超音波探傷試験による断面欠損箇所の検知に関する室内実験と現場試験では、小さい断面欠損の検知は適用が難しいという知見があり、今後の課題である。

最大引張荷重の低下が断面欠損率の低下に比べて大きいのは、応力集中が原因であると考えられる。そこで、応力集中の程度を示す応力集中係数 α を以下の式により求めた。

$$\alpha = \sigma_{\max} / (\sigma_{\max})_0$$

ここに、 σ_{\max} : 本試験体の最大引張応力(kN/m²)

$(\sigma_{\max})_0$: 有効断面積から算出される公称最大引張応力(kN/m²)

図-5は、断面欠損率と応力集中係数 α の関係を示したものである。本実験の腐食程度では、腐食断面欠損率が大きいほど、応力集中係数が高くなる傾向を示している。また、断面欠損が1カ所で生じている試験体は複数カ所で生じている試験体に比べて、応力集中係数が高くなる傾向を示す。これは、内部応力が局所化することで大きな応力集中が起きるためだと考えられる。ただし、試験体の数が少なく、これらの現象の解明については今後の課題である。

表-3 弾性波速度と断面欠損率

	Vp (m/s) 【多重反射法】	Vp (m/s) 【時間差法】	断面欠損率 (%)
No. 1	5206	5248	0.2
No. 2	5178	5251	1.0
No. 3	5194	5226	4.2
No. 4	5194	5241	4.2
No. 5	5204	5226	0.4
No. 6	5199	5206	12.5
No. 7	5204	5228	9.2
No. 8	5145	5204	21.7
No. 9	5263	5205	5.1
No. 10	5230	5247	0.0
No. 11	5210	5197	0.0
No. 12	5186	5231	0.0
No. 13	5209	5244	0.0
No. 14	5247	5225	0.0

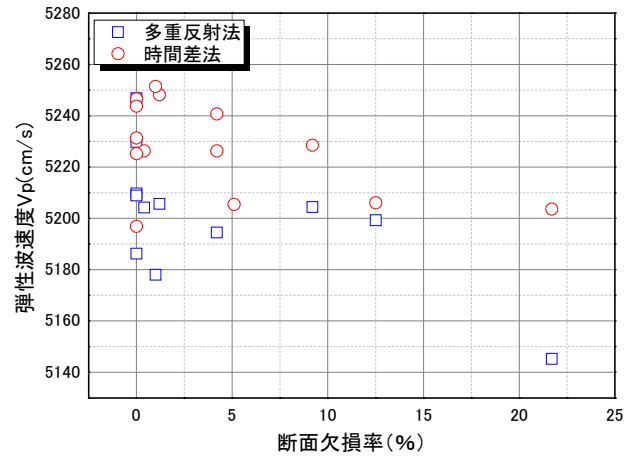


図-3 断面欠損率と弾性波速度の関係

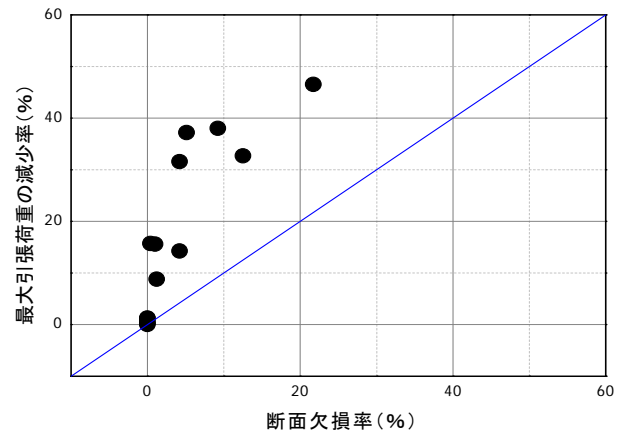


図-4 断面欠損率と最大引張荷重の関係

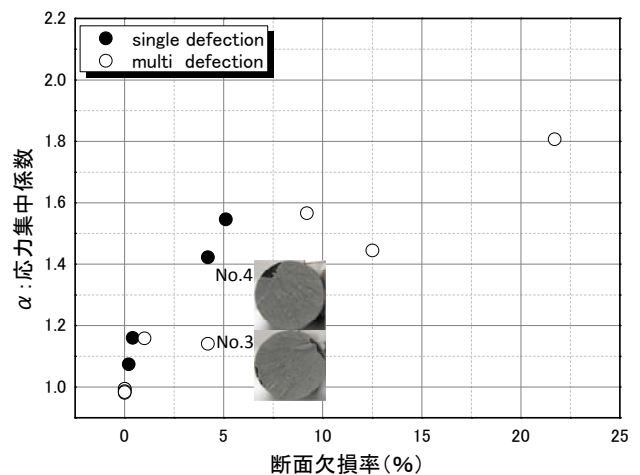


図-5 断面欠損率と最大引張荷重の関係

また、**図-6**は破断試験体の腐食促進開始時点から破断に至るまでのPC鋼棒のひずみの変化を示したものである。ひずみの値は、鋼棒の表・裏に張ったひずみゲージの値の平均を示す。ひずみが周期的に変化するの、主にヒーター等による温度変化の影響だと考える。全体的な傾向としては、腐食促進時間が経過するに従いひずみは減少する(PC鋼棒にかけた緊張力が除荷される)傾向が確認できる。また、破断にいたる直前にひずみの減少速度が速くなる傾向が確認できる。ひずみの変化等から遅れ破壊による破断の予兆を検知するためにも、モニタリング技術の開発についても今後の課題である。

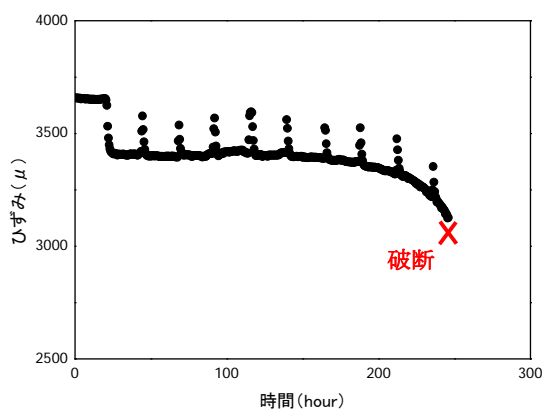


図-6 破断試験体のひずみの変化

前述の通り、設計アンカー力で遅れ破壊により破断する危険性を回避するためには、腐食による断面欠損が数%に至る前に検知する必要がある、既存の検知技術では予兆の検知が困難な現象といえる。そのため、防錆油の交換を定期的に行い、テンドン周りが腐食環境にならないように維持するなどの対応が重要であると考えられる。

3. まとめ

予防的対策工である防錆油交換をどのタイミングで行えばどの程度の効果が得られるのかの定性的な効果を明らかにすることを目的に、14本のPC鋼棒に緊張力を与えた状態で腐食時間を変えて腐食させ、引張強度、断面欠損率を計測した。主な成果は以下の通りである。

- ・アンカーの最大引張荷重の低下は、断面欠損率の低下に比べて大きい。
- ・断面欠損箇所の幾何学的な配置が引張強度に大きな影響を及ぼすことが確認された。これは、応力集中が原因であると考えられる。

- ・遅れ破壊に関しては、設計アンカー力で破断する危険性を回避するためには、腐食による断面欠損が数%に至る前に検知する必要がある、既存の検知技術では破断の予兆の検知が困難である。現状では、防錆油の交換を定期的に行い、テンドン周りが腐食環境にならないように維持するなどの対応が重要であると考えられる。

参考文献

- 1) (独)土木研究所, (社)日本アンカー協会: グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 2008.7
- 2) FIP state of the art report : Corrosion and corrosion protection of prestressed ground anchorages, 2008.7

Study on efficient maintenance method of ground anchor

Abstract:

Ground anchors are used for the purpose of stabilizing natural slopes and cut slope. Fifty years have passed since the initial ground anchors were constructed in Japan in 1957. During this time, improvements such as the materials, construction technology, and anti-corrosion technology was improved, and many ground anchors were constructed in road slope from the 1990's.

However, problems of tendon's fracture or slope's deformation were found in recent years. These problems may cause not only slope stability but also third party damages. However, slopes/structures which are constructed the anchors, are treated as proofed slopes/ structures. These slopes/structures are less likely to be maintained and preserved on a daily basis. Therefore, a uniform maintenance concept had not been showed.

But, uniform maintenance concept was showed in maintenance manual which was published by Public Works Research Institute and Japan Anchor Association in 2008. Since quantitative and qualitative effects of prophylactic countermeasures are not revealed, such precautionary measures are not being actively carried out on-site. Therefore, as the target in the form of breakage due to corrosion of delayed fracture, we conducted experiments to imitate delayed fracture of the anchor to clear the qualitative effect of preventive countermeasures. As a result, it was found that in order to avoid the risk of PC steel bar is broken at the design anchor force, it is necessary to replace the corrosion protection oil before cross-sectional defects reaches a few percent.

Key Words: ground anchor, maintenance, corrosion, corrosion protection oil replacement