

ロープネット工に関する維持管理手法の提案

藤田 雅也¹, 沢田 和秀², 八嶋 厚³, 新井 新一⁴, 須崎 竜太¹, 瀧澤 嘉男⁵

- 1 ダイヤコンサルタント・中部支社
- 2 岐阜大学・流域圏科学研究センター
- 3 岐阜大学
- 4 ダイヤコンサルタント・関東支社
- 5 岐阜県・林政部治山課

概 要

斜面に存在する岩塊を安定化させるために用いられるロープネット工に関する維持管理の課題を解決するため、現地調査、素線のめっき量調査および腐食ロープの引張試験を実施した。現地調査の結果、ロープネット工には、さびによる腐食が発生しやすく、それらはワイヤーロープが立木や地表面に接している箇所が発生しやすいことがわかった。素線のめっき量調査結果から、良好な山林環境におけるワイヤーロープ部材の耐用年数は100年以上期待できることがわかった。また、腐食ロープの引張試験結果から、ワイヤーロープの寿命曲線を提案し、腐食しやすい箇所は施工後20年程度でワイヤーロープの部材を交換しなければならないことがわかった。以上のことからロープネット工施設は、適切な維持管理により腐食部材を順次交換することにより、30年程度と考えられていた施設の耐用年数を大幅に延ばすことが可能である。

キーワード：ロープネット工、部材交換、めっき量調査、引張強度試験、寿命曲線

1. はじめに

国や地方の財政事情が逼迫する中、既存の社会基盤施設を長寿命化させるため、維持・補修の重要性が指摘されている。例えば、橋長が15m以上の道路橋は、2026年には建設後50年以上となるものが、全体の47%にもおよぶため¹⁾、それらを適切に維持・補修することによって、施設を長寿命化させる取り組みが行われている。既存の社会基盤施設を効率的に維持管理することは、社会的な重要課題となっており、それに資する仕組みを構築することの意義は大きい。このことは、道路橋に限らず山林に設置される落石対策施設も例外ではない。

従来の落石対策事業は、対策施設を造ることを主眼に行われてきたが、初期の工事から約20年が経過した今日では、厳しい財政状況から定期的な点検による適切な維持管理と、効率的な補修による施設の長寿命化が求められている。

本論文は、落石発生源対策の主工法であるロープネット工²⁾を対象とした現地調査、施工済現場から採取したワイヤーロープ試料を用いた残存めっき量調査および引張強度試験を行い、それらの結果から、ロープネット工の部材交換判断時期を提案したものである。これらの調査は、岐阜県における治山事業を対象に実施した。

2. ロープネット工とは

落石対策工は、発生源での落石発生を防止する落石予防工と、発生した落石を待ち受けその運動を止めたり、保全対象に落石が当たらないよう下方または側方へ誘導する落石防護工に分けられる。

ロープネット工は、図1のようにワイヤーロープおよび異形鉄筋のアンカーを主部材としており、格子状に組んだワイヤーロープで落石危険岩塊を覆うことによって、落石危険岩塊を斜面に固定し、想定される落石荷重に対してワイヤーロープを介したアンカーの引抜き耐力で抑止する落石予防工の一つである。図2のように、小規模な落石を広範囲に対処する場合に適しており、岐阜県のみならず全国的にも施工実績が多い落石発生源対策の主工法である。ロープネット工は、使用する部材が全て鋼製であるため、さびによる腐食が進行すると必要な性能を確保できなくなる恐れがある。

図3に岐阜県治山事業における落石対策事業費の内訳を示した(2001年度～2003年度)。これによると、落石予防工が落石対策工全体の84%を占め、その工種別内訳ではロープネット工が79%を占めており、ロープネット工が落石予防工の主工法であることがわかる³⁾。

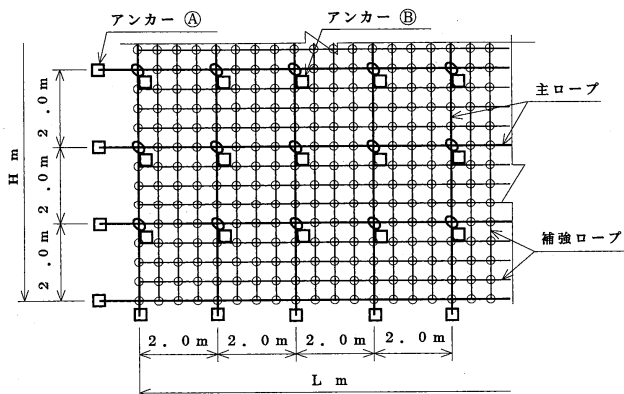


図1 ロープネット工の標準構造図²⁾



図2 ロープネット工の施工例

予防工と防護工の工事費割合 (2001年度～2003年度)

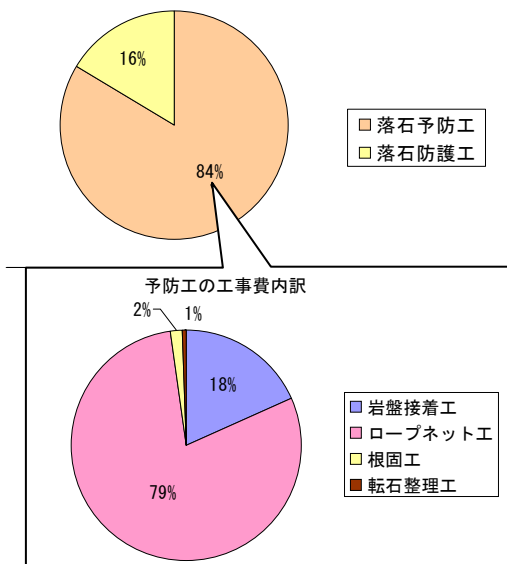


図3 岐阜県治山事業における落石対策事業費の内訳

3. 維持管理に関する問題点および課題

3.1 問題点

ロープネット工は、岐阜県の治山工事では 1985 年から

採用されており、初期の工事から 20 年以上が経過している。

ロープネット工の耐用年数は30年程度とされているが、暴露試験等のデータがなく、実際にどの程度の耐用年数があるか明らかになっていない。30年という年数は、亜鉛めっきの腐食速度の標準値(表5参照)から推定されたものであるが、ロープネット工が施工される山林は、腐食速度のデータがないため田園地帯のデータが準用されている。山林と田園地帯では亜鉛めっきの腐食条件が異なるため、山林における耐用年数は明らかではない。亜鉛めっきは、周囲に水分や腐食性ガス(二酸化硫黄や二酸化窒素等)が存在することによって腐食するため、これらが少ない山林は田園地帯より腐食速度が遅いと考えられる。

また、ロープネット工は、広範囲に施工されることが一般的であり、維持点検時に全ての部材をくまなく点検することは非効率的である。

3.2 課題

耐用年数の面からは、本格的な部材交換時期が到来する前に、部材交換が必要となる時期を明らかにし、部材交換の判断基準を明確にしておく必要がある。

維持点検の面からは、ロープネット工において発生しやすい変状の種類や部位を把握しておくことが、点検作業の効率化につながるものと考えられる。

3.3 課題解決のための調査

これらの課題を解決するため、施工済現場からワイヤーロープ試料を採取し、ワイヤーロープ部材の残存性能を調査するとともに、現状の変状程度を把握するための現地調査を実施した。

残存性能の調査は、残存めっき量からワイヤーロープ部材の性能を評価する素線のめっき量調査と、残存性能を直接調査する腐食ロープの引張強度試験を行った。

表1に調査項目を、図4に調査フロー図を示した。

表1 調査項目一覧表

調査項目	主な目的
1. 現地調査	ロープネット工における発生しやすい変状の種類や部位の把握
2. 素線のめっき量調査	ワイヤーロープ部材の残存性能の調査
3. 腐食ロープの引張強度試験	

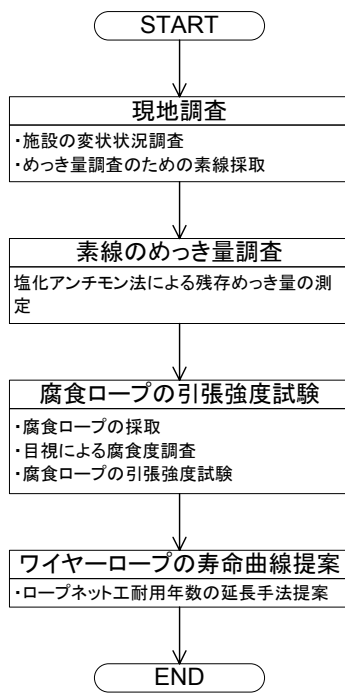


図 4 調査フロー図

4. 現地調査

4.1 調査目的

現地調査は、施工済のロープネット工施設において目視調査を実施し、ロープネット工における発生しやすい変状の種類や部位を把握するとともに、素線のめっき量調査に使用する試料を採取することを目的として実施した。

4.2 調査方法

ロープネット工は広範囲に設置されることが多いため、調査対象部材は施工地の概査を行い、腐食等が確認された地点を中心にワイヤーロープ部材を 20 本、アンカー部材を 20 本選定し（1 箇所当たり）、部材の変状状況を目視により調査した。

公的な基準図書⁴⁾からは維持点検時の着目点に関する記述は確認できなかったため、現地調査時の着目点は、ロープネット工と同様にワイヤーロープを使用したロープ系工法のマニュアル類を参考に以下の通りとした³⁾。

- (1) アンカーやワイヤーロープ等の部材が破断していないかどうか
- (2) アンカーやワイヤーロープ等の部材に腐食（さび）が発生していないかどうか
- (3) その他部材が破損していないかどうか
- (4) 新たな落石が発生するなど地山の動きがないかどうか

4.3 調査箇所の選定

岐阜県内のロープネット工施工済箇所の中から 31 箇所を選定し、現地調査を実施した。調査箇所は、施工時期が古いものを中心におおむね岐阜県全域から偏りなく選定

した。表 2 に調査箇所一覧表を、図 5 に調査位置図を示した。

表 2 調査箇所一覧表

番号	箇所名	番号	箇所名
1	高山市奥飛騨温泉郷栃尾	17	下呂市小坂町落合
2	郡上市八幡町吉野	18	飛騨市河合町小無雁
3	八百津町和知	19	飛騨市神岡町土
4	高山市奥飛騨温泉郷栃尾	20	瑞浪市稲津町
5	郡上市八幡町吉野	21	高山市奥飛騨温泉郷栃尾
6	八百津町和知	22	郡上市八幡町稲成
7	高山市奥飛騨温泉郷栃尾	23	郡上市高鷲町鮎立
8	八百津町和知	24	七宗町上麻生
9	高山市丹生川町瓜田	25	飛騨市神岡町東茂住
10	飛騨市古川町寺地	26	岐阜市長良
11	白川町河岐	27	揖斐川町春日六合
12	白川町中川	28	白川村平瀬
13	飛騨市古川町寺地	29	下呂市小坂町赤沼田
14	飛騨市河合町大谷	30	下呂市小坂町赤沼田
15	高山市丹生川町日面	31	高山市丹生川町瓜田
16	下呂市萩原町上呂		

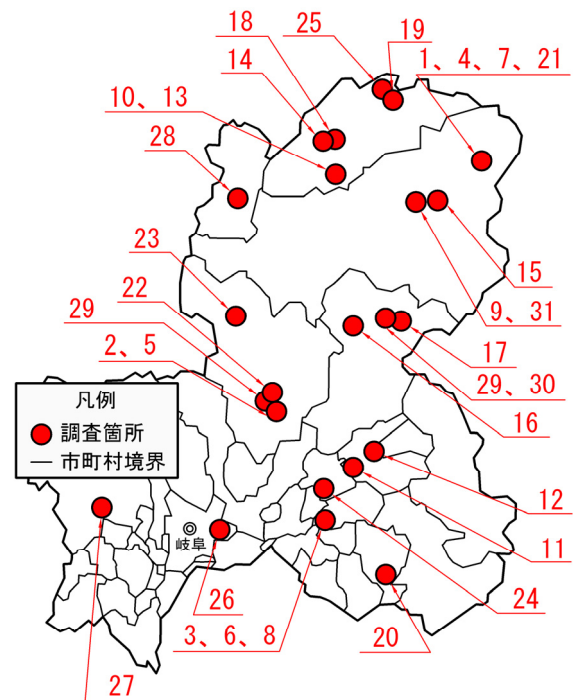


図 5 調査位置図

4.4 調査結果

現地調査の結果、アンカーやワイヤーロープ等の破断は確認されなかったが、部材の腐食（さび）が多数確認された。

4.4.1 部材の腐食

部材の腐食は、部材表面のみにさびが発生している軽微なものを含めると、全 31 箇所中 25 箇所（81%）の現場で

確認された。このうち、部材の深部にまでさびが達していると推定される（後述する腐食度判定がCまたはD）ものは16箇所（52%）であった。ロープネット工で使用する部材は全て鋼製であり、さびによる腐食が進行すると必要な性能を確保できなくなる恐れがある。このため、さびの度合いに応じた部材の性能を把握しておく必要がある。

部材の深部に達していると推定されるさびは、発生地点に以下のような傾向が認められた。

(1) ワイヤロープが立木の幹に接する箇所

立木の幹にワイヤロープが接している箇所は、さびが発生しやすい傾向が認められた（深部に達するさびが認められた16箇所中6箇所：38%）。立木を伝い流れる雨水が原因と考えられる（図6参照）。

森林に降った雨水のうち樹木の幹を伝わって流れる水は樹幹流と呼ばれ、水量は林内雨に比べて少ないが、溶存している物質の濃度が高く、大きく酸性に傾いていることが多い⁵⁾。

このため、立木に接して酸性化した樹幹流に触れる機会が多いワイヤロープは、他の箇所よりも腐食（さび）速度が速いと推察される。



図6 立木に接する箇所のさび

(2) ワイヤロープが地表面に接する箇所

地表面にワイヤロープが接している箇所は、さびが発生しやすい傾向が認められた（深部に達するさびが認められた16箇所中7箇所：44%）。地表面を流れる表面水が原因と考えられる（図7参照）。

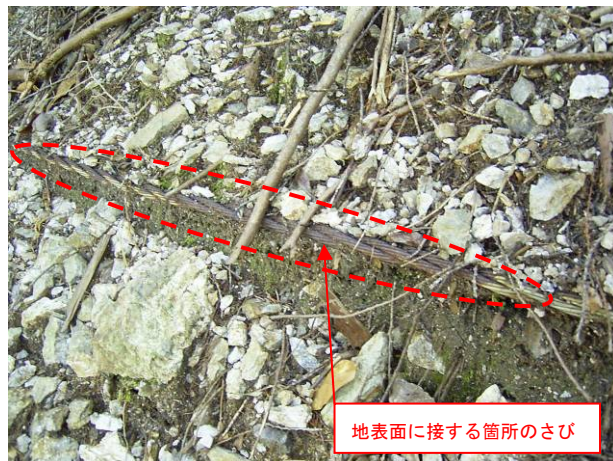


図7 地表面に接する箇所のさび



図8 クリップ部材の破損

4.4.2 部材の破損

部材の破損は、全31箇所中2箇所（6%）の現場で確認された（図8）。破損部材は、2箇所とも交点クリップ部材であり、この破損がロープネット工の落石予防機能に及ぼす影響は小さく、補修の必要性は低い。しかし、クリップの破損は、施工後の落石発生を示すものであり、このような箇所は、部材の補修よりも追加対策の必要性について調査・検討する必要がある。

5. 素線のめつき量調査

5.1 調査目的

素線のめつき量調査は、残存めつき量からワイヤロープ部材の残存性能を評価するための簡易手法として実施し、一般的に言われているロープネット工の耐用年数と比較した。

残存めつき量は、現地調査時に採取したワイヤロープの素線を用いて、塩化アンチモン法⁶⁾により調査した。

5.2 試料の採取

素線試料は、ロープネット工の主部材であるワイヤロープを対象とし、ロープネット工の機能に影響しない箇所である主ロープと巻き付けグリップ接続部からはみ出したロープ端部（図9参照）より、ニッパーを用いて採取した。試料採取位置は、立木や地表面に接していない気中環境であった。

現場の施工状況により、素線の採取が困難な箇所があり、全31箇所中25箇所の現場から素線試料を採取した。

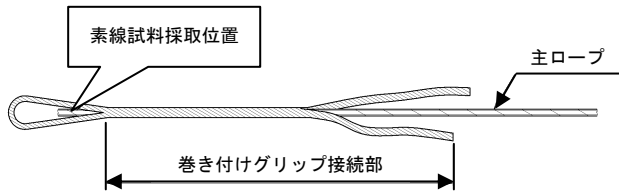


図9 素線試料の採取位置

5.3 調査方法

5.3.1 調査の流れ

各現場より採取したワイヤーロープの素線を塩化アンチモン法により、残存めっき量（めっき付着量）を算出した。

塩化アンチモン法は、塩化アンチモン試験液を用いて試験片に付着しているめっきを溶かし、試験前後の試験片質量差からめっき付着量を求める試験である。試験は、JIS H 0401「溶融亜鉛めっき試験方法」の間接法である塩化アンチモン試験液を用いた試験（旧称：塩化アンチモン法）⁶⁾に準拠した。アンチモン試験の流れを図10に示した。

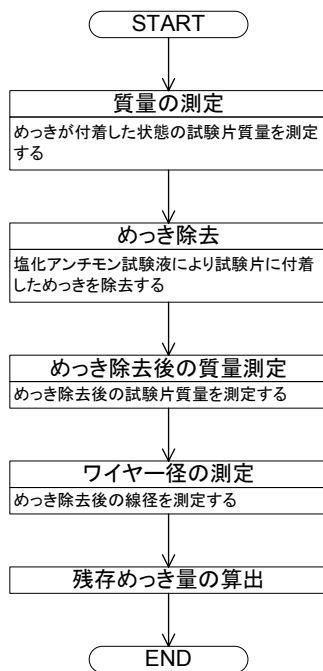


図10 アンチモン試験の流れ

5.3.2 残存めっき量の算出

式(1)により残存めっき量を算出した。式(1)は線類におけるめっき付着量を算出する式である⁶⁾。

$$A = \frac{W_1 - W_2}{W_2} D \cdot 1960 \quad (1)$$

A :めっき付着量(g/m²)

W₁ :めっき除去前の試験片質量(g)

W₂ :めっき除去後の試験片質量(g)

D :めっき除去後の線径(mm)

5.4 調査結果

5.4.1 試験結果

試験結果を表3にまとめ、φ12mmのワイヤーロープにおける残存めっき量と施工後年数の関係を表すグラフを図11および図12に示した。

この結果、残存めっき量と施工後年数の関係式としてφ12mm（普通めっき）について式(2)が、φ12mm（厚めっき）について式(3)が得られた。

式(2)の相関係数は-0.26（有意水準は30%）であり、弱い相関が認められた。しかし、式(3)の相関係数は-0.11（有意水準は73%）であり、有意な相関は認められなかった⁷⁾。

なお、φ8mmおよびφ14mmについては、試料数が少ないため、解析対象から除外した。

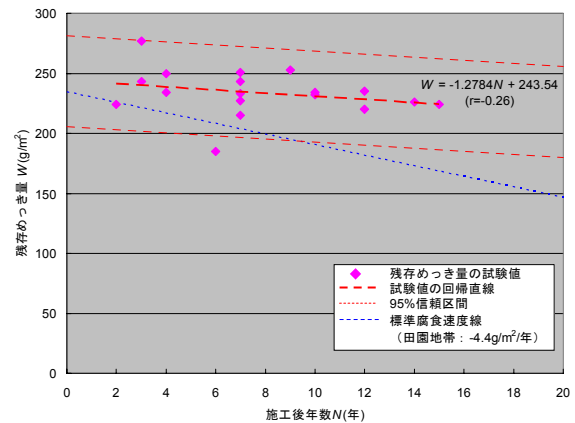


図11 施工後年数と残存めっき量（φ12mm、普通めっき）

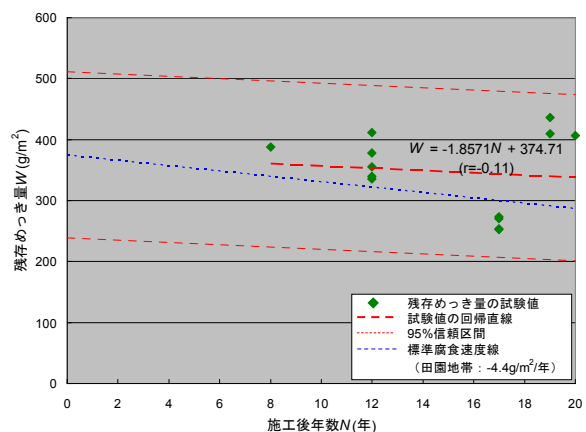


図12 施工後年数と残存めっき量（φ12mm、厚めっき）

$$W = -1.2784N + 243.54 \quad (r=-0.26) \quad (2)$$

$$W = -1.8571N + 374.71 \quad (r=-0.11) \quad (3)$$

ここで、W：残存めっき量（g/m²）、N：施工後年数（年）

表 3 素線試料採取箇所および試験結果一覧表

番号	箇所名	施工年度	めっきの規格(推定)	ワイヤーロープの径(mm)	工場出荷時めっき量(g/m ²)	めっき除去後の線径D(mm)	残存めっき量W(g/m ²)	施工後年数N(年)	試料数
1	高山市奥飛騨温泉郷栲尾	1985	厚めっき	12	450	1.83	407	20	10
2	郡上市八幡町吉野	1986	厚めっき	12	450	1.79	436	19	7
3	八百津町和知	1986	普通めっき	14	300	2.21	259	19	5
			普通めっき	14	300	2.17	247	19	4
4	高山市奥飛騨温泉郷栲尾	1986	厚めっき	12	450	1.83	410	19	7
5	郡上市八幡町吉野	1987	普通めっき	14	300	2.19	286	18	7
8	八百津町和知	1988	厚めっき	12	450	1.85	270	17	7
9	高山市丹生川町瓜田	1988	厚めっき	12	450	1.87	273	17	5
			厚めっき	12	450	1.87	254	17	5
			厚めっき	12	450	1.87	253	17	5
10	飛騨市古川町寺地	1990	普通めっき	12	240	1.85	224	15	6
12	白川町中川	1991	普通めっき	8	200	1.23	151	14	7
			普通めっき	8	200	1.22	154	14	7
13	飛騨市古川町寺地	1991	普通めっき	12	240	1.87	226	14	7
14	飛騨市河合町大谷	1993	厚めっき	12	450	1.78	355	12	5
			厚めっき	12	450	1.78	339	12	5
15	高山市丹生川町日面	1993	普通めっき	12	240	1.84	220	12	4
			普通めっき	12	240	1.86	235	12	7
16	下呂市萩原町上呂	1993	厚めっき	12	450	1.78	412	12	5
17	下呂市小坂町落合	1993	厚めっき	12	450	1.79	378	12	7
			厚めっき	12	450	1.80	336	12	5
19	飛騨市神岡町土	1995	普通めっき	12	240	1.84	234	10	5
			普通めっき	12	240	1.85	232	10	5
20	瑞浪市稲津町	1996	普通めっき	12	240	1.85	253	9	7
21	高山市奥飛騨温泉郷栲尾	1997	厚めっき	12	450	1.79	388	8	7
22	郡上市八幡町稲成	1998	普通めっき	12	240	1.84	215	7	13
23	郡上市高鷲町鮎立	1998	普通めっき	12	240	1.85	227	7	11
24	七宗町上麻生	1998	普通めっき	12	240	1.86	243	7	7
25	飛騨市神岡町東茂住	1998	普通めっき	12	240	1.86	233	7	5
			普通めっき	12	240	1.86	251	7	5
26	岐阜市長良	1999	普通めっき	12	240	1.88	185	6	6
28	白川村平瀬	2001	普通めっき	12	240	1.85	250	4	5
			普通めっき	12	240	1.85	234	4	5
30	下呂市小坂町赤沼田	2002	普通めっき	12	240	1.85	243	3	7
			普通めっき	12	240	1.84	277	3	5
31	高山市丹生川町瓜田	2003	普通めっき	12	240	1.86	224	2	5

5.4.2 めっき規格の推定

試料のめっき規格は、外観からは判別できないため、出荷時めっき付着量から推定し、普通めっきと厚めっきに分類した。出荷時めっき付着量は、ワイヤーロープの製造メーカーである東京製綱(株)にワイヤーロープ素線出荷時のめっき付着量品質管理値について照会し、表4のように推定した(当時の記録は残っていなかったため、現在の品質管理値から推定した。今回採取した試料は全て東京製綱(株)製であった。)

表 4 ワイヤーロープの出荷時めっき付着量

線径	規格	めっき付着量(g/m ²)		
		規格値 ²⁾	品質管理値	出荷時(推定値)
8mm	普通めっき	110	190~210	200
12mm	普通めっき	165	230~240	240
12mm	厚めっき	300	440~460	450
14mm	普通めっき	190	290~310	300

5.4.3 腐食速度の標準値との対比

亜鉛めっきの標準的な腐食速度は、(社)日本溶融亜鉛鍍金協会の暴露試験結果⁸⁾が表5のとおり示されている。前出の図11および図12は、ここで示される田園地帯の腐食速度:4.4g/m²/年を対比して示した。

ロープネット工の標準的な耐用年数は、φ12mm普通めっきのめっき付着量規格値:160g/m²および田園地帯の腐食速度:4.4g/m²/年から式(4)より約30年とされている⁹⁾。式(4)中の0.9は、亜鉛被膜の90%が失われた段階で鋼材からさびが発生するとの仮定による⁸⁾ものである。

今回の調査結果から得られた腐食速度は1.3g/m²/年(φ12mm普通めっき)、1.9g/m²/年(φ12mm厚めっき)となり、標準腐食速度よりも非常に遅い。このことは、山林は田園地帯よりも水分や腐食性ガス(二氧化硫黄や二酸化窒素等)が少ないためと考えられる。

$$165 \times 0.9 \div 4.4 = 33.8 \rightarrow 30 \text{年} \quad (4)$$

表5 亜鉛めっきの腐食速度標準値⁸⁾

暴露試験地域	腐食速度 (g/m ² /年)
都市工業地帯	8.0
田園地帯	4.4
海岸地帯	19.6

5.5 考察

素線のめっき量調査の結果、ロープネット工が施工されるような山林環境(ワイヤーロープが立木や地表面に接しない気中環境)での腐食速度は、腐食速度の一般値とされる4.4g/m²/年(田園地帯の場合)よりも遅いことがわかった。

ワイヤーロープの耐用年数は、弱い相関が認められた式(2)から得られた腐食速度を用いると114年(式(5))となり、図11の95%信頼区間¹⁰⁾から計算すると142年(式(6))となる。いずれの場合も100年以上の耐用年数となり、当研究で得られた結果からはワイヤーロープの耐用年数は100年以上が期待できる。ただし、この結論は限られた数のデータから得られたものであり、その信頼性が十分でないため、同様の試験データを蓄積し結論の信頼性を向上させることが望ましい。なお厚めっきは、普通めっきよりもめっき付着量が多く、普通めっきより耐用年数が長いと考えられるため、ここでは普通めっきの結果を用いて考察した。

$$165 \times 0.9 \div 1.3 = 114.2 \quad (5)$$

$$205 \times 0.9 \div 1.3 = 141.9 \quad (6)$$

6. 腐食ロープの引張強度試験

6.1 試験目的

腐食ロープの引張強度試験は、ワイヤーロープ部材の残

存性能を評価するために実施した。腐食ロープの引張強度、外観、供用年数などからワイヤーロープ部材の供用限界を考察した。

6.2 試料の採取

現地調査の結果、ロープに著しい腐食が認められた10箇所の現場から腐食したワイヤーロープを採取し、引張強度試験を実施した。引張強度試験は、各現場より2本ずつ採取した腐食ロープと、5郡上市八幡町吉野(1987)において採取した健全ロープ1本(ロープの径は14mm、G'と名付けた)をあわせた全21本で実施した(試料の名称は表6に示した。なお表6に示した現場番号は、図5、表2および表3に示した現場番号と同一である)。

調査対象施設は、いずれも現役の落石予防施設であるため、腐食ロープの採取箇所は、何らかの方法で補修しておく必要がある。ワイヤーロープの採取・補修方法の概念図を図13に示した。

腐食ワイヤーロープは、油圧式カッターを用いて腐食部分を2m程度切断して採取した。切断箇所は、新品の代用ロープ(2m)を巻き付けグリップで固定することによって補修した。巻き付けグリップの掌握性能は、ワイヤーロープの破断荷重を上回っており、補修後も1本のワイヤーロープとしての引張り性能が低下することはない。

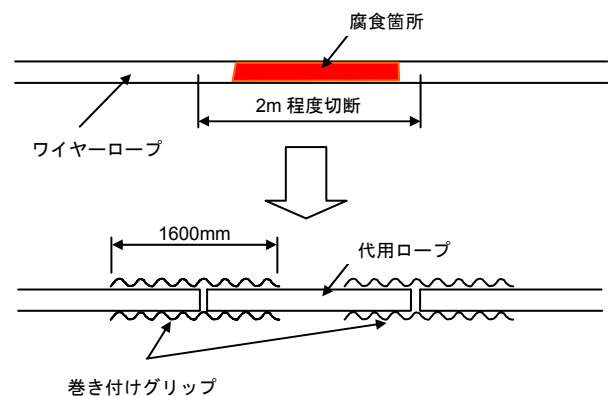


図13 ワイヤロープの採取・補修概念図

6.3 試験方法

腐食ロープの引張強度試験は、JIS G 3525に準拠して行った。また、腐食ロープの破断荷重と腐食状況を対比するため、採取試料の腐食状況を目視により評価した。

腐食状況を評価するには評価基準が必要となるが、ワイヤーロープにおける腐食の外観評価は現在研究段階であり、明確な評価基準は存在しない。このため、鉄筋コンクリートにおける鉄筋の腐食評価の例¹¹⁾を参考に、ワイヤーロープにおける腐食度判定の目安を図14の通り定め、この目安に従い採取試料の腐食度を判定した。

腐食度の判定目安

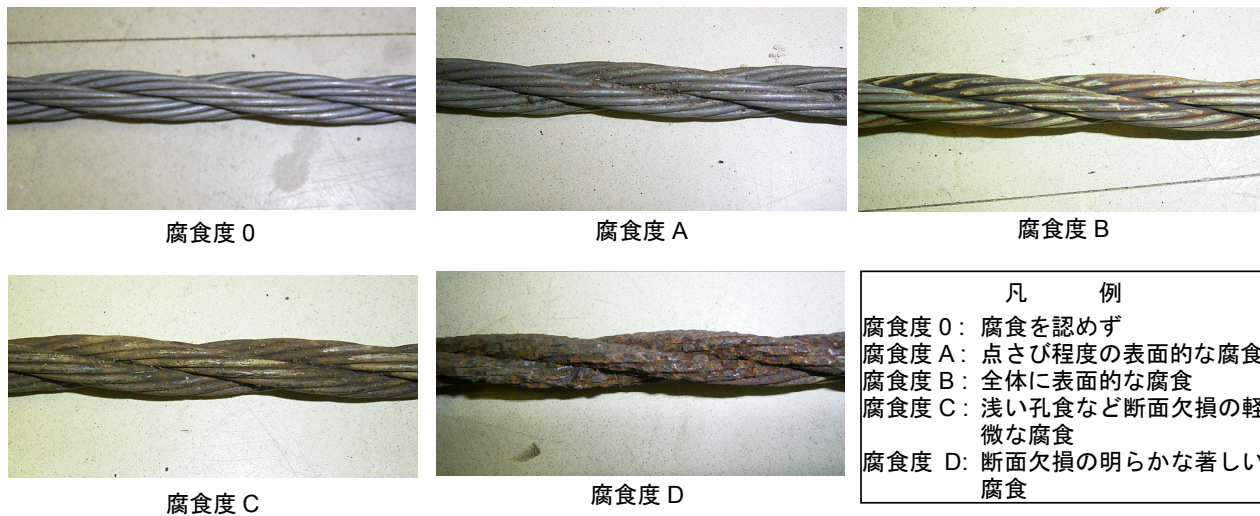


図 14 目視による腐食度判定の目安

6.4 試験結果

引張強度試験結果を表 6 に示した。また、腐食度判定結果の例を図 15 に示した。

表 6 引張強度試験結果

試料名称	破断荷重 (kN)	破断箇所の腐食度	試料採取現場番号
A	72	D	1
B	78	D	1
C	57	D	2
D	83	C	2
E	86	C	4
F	82	C	4
G	49	D	5
H	55	D	5
I	80	D	6
J	91	B	6
K	84	D	7
L	82	C	7
M	80	C	10
N	89	D	10
O	87	C	16
P	87	C	16
Q	86	C	17
R	87	C	17
S	31	D	26
T	84	C	26
G'	117	0	5

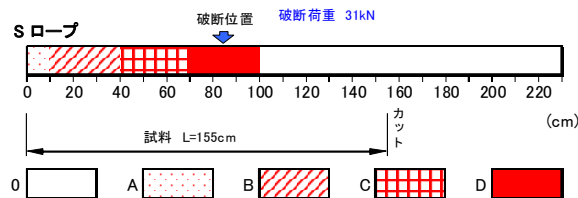


図 15 腐食度判定結果 (試料 S の例)

6.5 試験結果の考察

6.5.1 工場出荷時破断荷重の推定

施工時から現在までの性能低下を検討するにあたり、工場出荷時の性能を推定する必要がある。

ワイヤーロープの設計上の破断荷重およびメーカーの出荷基準を表 7 に示した。ワイヤーロープの製造メーカーである東京製綱 (株) では、自社の出荷基準を設計上の破断荷重より 10kN 程度高めに設定している。よって、施工時の破断荷重は 12mm のワイヤーロープの場合、少なくとも出荷基準の 80kN 以上であり、平均的にこの値をどの程度上回っているのかを推定する必要がある。

表 7 ワイヤーロープの破断荷重

ワイヤーロープ径	設計上の破断荷重 ¹²⁾	メーカーの出荷基準
14mm	98.1kN	100 kN
12mm	68.6 kN	80 kN
備考		東京製綱 (株)

健全な G' の破断荷重は 117kN であった。これが工場出荷時の性能であると仮定すると、14mm ワイヤーロープの出荷時性能は、出荷基準の 1.17 倍となる。12mm ワイヤーロープも出荷基準に対して同程度の割増率であると考え

ると、12mm ワイヤロープの出荷時破断荷重は、約 94kN と推定できる (図 16 参照)。

健全ロープ(G':14mm)の 破断荷重 (出荷時状態と仮定)	÷	メーカーの 出荷基準(14mm)	=	出荷時 性能の 割増率
117kN	÷	100kN	=	1.17



メーカーの出荷基準 (12mm)	×	出荷時性能の 割増率	=	出荷時の 破断荷重 (12mm)
80kN	×	1.17	=	93.6kN

図 16 工場出荷時破断荷重の推定

6.5.2 必要性能と管理値

前述の通り、12mm ワイヤロープの設計上の破断荷重は、68.6kN である。ロープネット工の設計では、これに安全率 3 を考慮し、ワイヤロープには 22.9kN 以上の荷重は作用しないものと考えられている²⁾。

よって、22.9kN をワイヤロープ (12mm の場合) の必要性能とし、これを 20%割増しした 28kN を管理値とした。

ワイヤロープの性能は、施工後年数 (時間) に応じて低下し、管理値まで低下すると、性能回復のための補修が必要となる。管理値は、維持点検結果により補修することを決めてから補修工事が行われるまでの期間に必要性能を下回ることがないように設定する必要がある。当研究では、この時間的な余裕として 20%割増しを考慮した。

6.5.3 寿命曲線

引張試験結果を施工後年数と破断荷重の関係で表すと図 17 の通りとなる。この結果に前述の工場出荷時破断荷重 (94kN) を考慮すると、ワイヤロープの寿命曲線として式(7)が得られた。これにより、ワイヤロープの性能は、最速の場合で施工後 23.9 年後に管理値を下回ることとなる。

ただし試料 S は、採取箇所が腐食環境であることが判明したほか (後述)、他と比較して極端に低い試験結果であったことから、当研究では一般的な環境における結果ではないと判断して寿命曲線の検討から除外した。しかし、寿命曲線の検討は、性能が低下しやすいものを考慮して行うべきであり、後述する試料 S 採取箇所の土壌環境が一般的なロープネット工施工箇所と比べて特異なものであるかを検証する必要がある。この検証を行うには、今後のデータの蓄積を待たなければならない。

得られた寿命曲線は、引張試験結果の値が低いものを考慮して検討しており、岐阜県内の一般的なロープネット工施工環境における最短寿命である。また寿命曲線は、土木構造物の寿命曲線として一般的に用いられる二次関数のほか、一次関数や指数関数での表現を試みた上で、管理値を下回るまでの年数が最も短い二次関数を採用して式(7)を得た。

引張強度試験の試料数は 20 試料と少ないが、1 箇所当たりワイヤロープ 20 試料以上の目視調査を行っており、それらを含めると全 620 試料となる。ほとんどの試料は腐食度が 0 または A であったため引張強度試験までは行っていないが、それらの引張強度が式(7)を下回ることはないと考えられる。

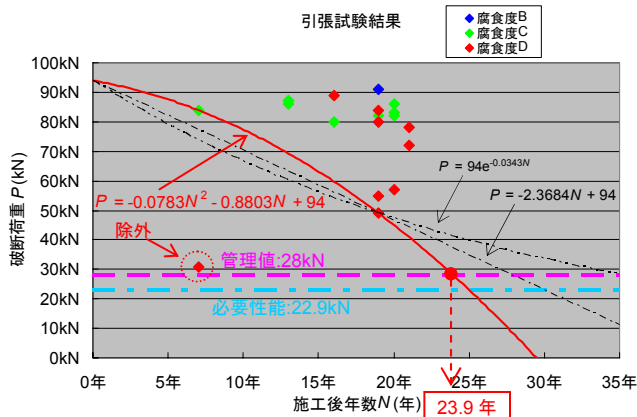


図 17 引張試験結果とワイヤロープの寿命曲線

$$P = -0.0783N^2 - 0.8803N + 94 \quad (7)$$

ここで、P: 破断荷重 (kN), N: 施工後年数 (年)

6.5.4 部材交換の判断

今後の維持管理におけるワイヤロープ部材の交換は、目視点検の結果から判断する必要があるため、目視で判定可能な腐食度の違いによって評価した。

図 17 の縦軸に注目すると、腐食度 B および C のものには、大きな引張強度の低下は認められず、全て設計上のワイヤロープ破断荷重 (68.6kN: 表 7 参照) を満足している。一方、腐食度 D のものには、引張強度の低下が始まっているものがあり、数年後には管理値を下回る恐れがある。よって、腐食度が D まで進行したものは新しい部材に交換することとした。

6.5.5 ロープネット工の維持管理サイクル

以上の知見を踏まえ、ロープネット工維持管理サイクルのイメージ図を図 18 に示した。

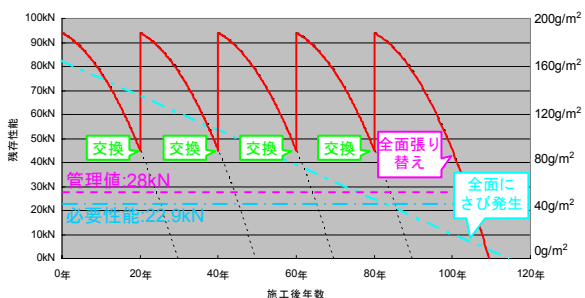


図 18 ロープネット工維持管理サイクルのイメージ図

この図 18 のように、ロープネット工施設は、適切な維持管理により、施工後 20 年が経過し腐食度 D まで達した

部材を順次交換することにより、30年程度と考えられていた施設の耐用年数を大幅に延ばすことが可能である。

6.6 試料 S 地点の土壌分析

試料 S の引張強度は、他と比較して極端に低い値であったため、試料 S の採取箇所についての土壌分析を実施した。

6.6.1 土壌分析方法と現場状況

(1) 土壌分析方法

試料 S の採取地点（以降 S 地点と呼ぶ）および、その近傍で腐食が認められない地点（以降対照区と呼ぶ）の土壌を採取し、表 8 に示す土壌分析を実施した。

当現場では、S 地点付近にのみ腐食が発生していたため、腐食要因は土壌に起因しているものと判断し、土壌に関する分析を実施した。腐食原因が表面水である場合は、現場全体的に腐食が認められると考えられる。

試料は表層の落ち葉を除き、地表面から約 10cm までの土壌をスコップで採取し、ビニール袋に入れて密封した。

表 8 土壌分析項目

試験項目	試験方法
比抵抗	
pH (H ₂ O)	JGS 0211-2000
Redox 電位 (酸化還元電位)	
水分 (含水比)	JIS A1203
硫化物 (及び硫化水素)	
土の種類	目視判定
総酸度	
アルカリ度	
塩化物含有量	JGS 0241-2000
硫酸塩含有量	JGS 0241-2000

(2) 現場状況

S 地点は、ロープネット工の端部アンカーが打設されている地点であり、地山の凹凸などによって局所的な荷重が作用する箇所ではなかった。また、表面水が流下しやすい地形をしており、ワイヤーロープがじめじめした土砂に埋没していた。

一方対照区のワイヤーロープは、土砂に接してはいるが埋没まではしていない状況であった(図 19, 図 20 参照)。



図 19 S 地点の状況



図 20 対照区の状況

6.6.2 土壌分析結果の考察

S 地点と対照区の土壌分析結果のうち、特筆すべきものを表 9 にまとめた。

表 9 S 地点と対照区の土壌分析結果の比較

分析結果	S 地点	対照区	判定基準
(a) 含水比	39.4%	16.9%	20%以上で腐食性あり ¹³⁾
(b) 設置状況	埋没	完全には埋まっていない	目視
(c) 土壌が腐植土である	○	○	目視
(d) pH	4.3	4.3	6 以下で腐食性あり ¹³⁾

S 地点と対照区は、ともに土壌が腐植土であり、pH=4.3 と酸性化していることがわかった。S 地点はこれらに加えて含水比が高く、ワイヤーロープが土壌に埋没した状況であった。

これらの結果から総合的に判断すると、S 地点は、「酸性の腐植土壌」という潜在要因に加え、「含水比が高い土壌中にワイヤーロープが埋没している」というワイヤーロープの設置条件が重なり、電気化学反応が生じる腐食環境であると判断できるため、ワイヤーロープの寿命曲線検討

から除外した。

一般に我が国の森林土壌は、降雨による塩類の流失、枯草や枯葉などの分解による有機酸や腐植酸などによって、酸性化していることが多い¹⁴⁾。また、対照区に重大なさびが発生していないことから、表 9 の(c)および(d)は、調査地全体の潜在要因と考えられる。

7. 結論

本研究では、ロープネット工の施工済現場における現地調査を実施するとともに、現場から採取したワイヤーロープ素線のめっき量調査、腐食ロープの引張試験を実施し、以下の知見が得られた。

- 1) 現地調査結果から、ロープネット工における発生しやすい変状はさびによるワイヤーロープの腐食であり（全 31 箇所中 25 箇所：81%の現場で確認）、それが立木や地表面に接している箇所に発生しやすい傾向があることがわかった。これらの箇所は、新たな落石の発生を示すクリップ部材の破損とともに、維持点検時の重点点検箇所とすることで、点検作業を軽減することが可能である。
- 2) 素線のめっき量調査結果から、良好な山林環境（部材が立木や地表面に接しない気中環境）におけるワイヤーロープの腐食速度は、これまで想定されていた腐食速度よりも非常に遅いことがわかった。良好な山林環境におけるワイヤーロープ部材の耐用年数は 100 年以上が期待できる（ただしデータの蓄積により結論の信頼性を向上させることが望ましい）。
- 3) 腐食ロープの引張試験結果から、ワイヤーロープの寿命曲線を提案した。この結果から、ワイヤーロープが立木や地表面に接するような腐食しやすい箇所は施工後 20 年程度でワイヤーロープの残存性能が管理値を下回る可能性があることがわかった。施工後 20 年が経

過し、腐食度 D まで腐食した部材を交換することにより、施設を大幅に長寿命化させることが可能である。

- 4) 試料 S 地点の土壌分析の結果から、S 地点が腐食環境であることが判明したほか、試料 S の引張試験結果が他と比較して極端に低い値であったことから、寿命曲線の検討から試料 S を除外した。S 地点のように特に腐食速度が速い箇所がどの程度の割合で存在するかを確認し、必要に応じてそれらの寿命曲線を検討するために、今後の維持点検データを蓄積する必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省 HP, 建設後50年以上経過した橋梁の割合, <http://www.mlit.go.jp/road/kadai/05.html>, 2009.8.
- 2) シーシーエム協会：ロープネット工技術資料, 2003.
- 3) 藤田雅也, 沢田和秀, 八嶋厚, 新井新一, 須崎竜太, 瀧澤嘉男：GPS 座標情報を利用した落石予防施設の効率的な維持点検手法の提案, 地盤工学ジャーナル, Vol.4, No.2, pp.215~224, 2009.
- 4) 例えば, (社)日本治山治水協会：治山技術基準解説 総則・山地治山編, 1999.
- 5) 金子真司, 荒木誠, 古澤仁美, 後藤義明, 服部重昭, 平野恭弘, 井鷲裕司, 伊東宏樹, 加茂皓一, 清野嘉之, 小林忠一, 小南裕志, 深山貴文, 南部桂, 西本哲昭, 竹内郁雄, 玉井幸治, 千葉幸弘, 鳥居厚志, 吉岡二郎：酸性雨等の森林生態系への影響モニタリング 関西スギ林における酸性降下物一, 森林総合研究所研究報告, Vol.3, No.3, pp.227~296, 2004.
- 6) JIS H0401 溶融亜鉛めっき試験方法：(財)日本規格協会, 1983.
- 7) 鳥居泰彦：はじめての統計学, 日本経済新聞社, 1994, pp.213~257.
- 8) JIS H8641 溶融亜鉛めっき：(財)日本規格協会, 2007.
- 9) 東京製綱：技術資料, 2005.
- 10) 石南国：統計学教科書, 創成社, 1975, pp.117~120.
- 11) コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針-2003：日本コンクリート工学協会, 2003, p.18.
- 12) (社)日本道路協会：落石対策便覧, 丸善株式会社出版事業部, 2000, p.134.
- 13) DVGW GW9：ドイツガス水道技術者協会規格, 1971.
- 14) 森貞和仁：日本の森林土壌における土壌酸性の分布と特徴, ベドロジスト, Vol.47, No.2, pp.106~111, 2003.

(2009.10.15 受付)

Suggestions for maintenance checks of the Rope-net method

Masaya FUJITA¹, Kazuhide SAWADA², Atsushi YASHIMA³, Shinichi ARAI⁴,
Ryuta SUZAKI¹ and Yoshio TAKIZAWA⁵

- 1 Chubu Branch, DIA Consultants Co. Ltd.
- 2 River Basin Research Center, Gifu University
- 3 Gifu University
- 4 Kanto Branch, DIA Consultants Co. Ltd.
- 5 Forestry Preservation Division, Gifu Prefectural Government

Abstract

Rope-net method is one of the methods against rock fall. To solve a problem about the maintenance of the Rope-net method, we carried out field investigations, tests of wire plating weight, and tensile testing of rusted wire ropes. Field investigations revealed that the Rope-net method rusts easily and that the wire rusts easily at the part where it touches the trees or the ground. Tests of wire plating weight show that the durability of wire ropes can be maintained for more than 100 years in a good forest environment. From the results of tensile testing of rusted wire ropes, we obtained a life curve for a wire rope. We discovered that parts of the wire rope that are easily prone to rust must be replaced 20 years after installation. From these results, it is clear that the life of the Rope-net method, which was believed to be only 30 years, can be extended considerably by replacing the rusted parts by appropriate maintenance.

Key words: Rope-net method, parts replacement, tests of wire plating weight, tensile testing, life curve