

北海道内で土木資材として使用されているカラマツの耐朽性

森 満範 宮内 輝久 杉山 智昭
前田 典昭*¹ 藤原 拓哉*² 今井 良*³

Durability of Civil Structural Materials Made of Japanese Larch Installed in Hokkaido

Mitsunori MORI Teruhisa MIYAUCHI Tomoaki SUGIYAMA
Noriaki MAEDA Takuya FUJIWARA Makoto IMAI

The durability of civil structural materials made of Japanese larch (*Larix leptolepis*) installed in Hokkaido was investigated. It was estimated that the service life of untreated members evaluated by viewing the damage grade was about 8-9 years, and that the average penetration depth measured with Pilodyn was about 30 mm at that time. The civil structural materials treated with CuAz (copper, borate, and azole) for log block retaining work were expected to have at least 11 years of service life when in contact with soil, since almost all of members were in sound condition and the average penetration depth measured with Pilodyn was under 20 mm after a lapse of 10 or 11 years. Moreover, it was revealed that the decay progression could be classified into four patterns by the environment where each member was installed, i.e. “member in the ground line”, “member in contact with soil above ground”, “vertical member not in contact with soil above ground” and “horizontal member not in contact with soil above ground.”

Key words: civil structural materials, Japanese larch, service life, damage grade, Pilodyn
土木資材, カラマツ, 耐用年数, 被害度, ピロディン

北海道内に設置されたカラマツを用いた土木構造物の腐朽調査を行った。目視による被害度から判断した無処理材の地際部分における耐用年数(被害度が2.5に達する年数)はおよそ8~9年程度, またその時のピロディンによる平均打ち込み深さはおよそ30 mm程度であると推定された。CuAz(銅・ホウ酸・アゾール)処理部材で構成されたブロック積工は, 設置後10年あるいは11年を経過した時点で, いずれの部材もほぼ健全な状態を維持し, ピロディンによる平均打ち込み深さも20 mmを下回り, 接地条件下にあっても少なくとも11年以上の耐用年数を期待できることがわかった。また, 各部材がおかれている環境, すなわち「地際」, 「地上部-接地」, 「地上部-非接地-縦材」および「地上部-非接地-横材」の四つの部位における腐朽の経年変化を把握することができた。

1. はじめに

日本の人工林の多くが既に間伐期を迎えているなか、健全で多面的な機能を発揮する森林の育成のための対策が推進されている。このような背景を受け、間伐材の有効利用法の開発が急務となっている。一方、自然環境に負荷の少ない材料として木材が注目を浴びるようになり、治山事業、農業・農村整備事業などにおける土木資材としての用途に期待が寄せられている。北海道においては、主にカラマツ間伐材がこれらの用途に利用されている。

カラマツをはじめとした木材を野外環境に設置し

た場合、腐朽の発生を伴う。しかし、北海道という寒冷な地域における木材の野外環境下での耐朽性に関する情報は少なく、野外暴露試験におけるカラマツ丸太などの耐朽性は明らかにされているものの¹⁾、土木資材として用いた場合のカラマツの耐朽性に関する知見はほとんどない。

本研究では、カラマツ間伐材を土木資材として計画的に利用すること、および耐朽性を向上させる木材保存処理を適正に行うための基礎的な知見を得ることを目的とし、北海道で土木資材として利用されているカラマツの耐朽性を調査した。

第1表 調査を行ったカラマツ製土木構造物の概要

Table 1. Outline of wooden civil engineering structures made of Japanese larch investigated.

場所 Area	工種 Work-type	木材保存処理 Preservative treatment	経過年数 Service years	調査件数 The number of structures	データ数 The number of data	
					被害度 Damage grade	ピロディン Pilodyn
網走市北浜 Kitahama, Abashiri	防風柵工 Windbreak fence work	—	5	2	64	224
		—	6	2	64	224
		—	7	2	64	224
		—	8	2	64	224
		—	9	2	64	224
網走市駒場 Komaba, Abashiri	土留工(柵工) Earth retaining work (Fence work)	—	6	2	35	120
		—	10	3	—	—
		CuAz	10	3	114	400
常呂郡訓子府町 Kunneppu, Tokoro	土留工(柵工) Earth retaining work (Fence work)	—	3	2	36	96
		—	5	2	40	128
常呂郡常呂町共立 Tokoro, Tokoro	土留工(柵工) Earth retaining work (Fence work)	—	5	2	40	128
		—	5	4	115	288
茅部郡砂原町馬投沢 Sawara, Kayabe	土留工(柵工) Earth retaining work (Fence work)	—	5	4	115	288
		—	5	4	115	288
松前郡福島町月崎(治山の森) Fukushima, Matsumae	丸太積工 Log block retaining work	CuAz	11	2	34	136
		—	12	6	170	680
		—	12	6	170	680
上川郡美瑛町白金硫黄沢 Biei, Kamikawa	土留工(柵工) Earth retaining work (Fence work)	—	2	2	30	64
		—	3	4	60	0
		—	4	2	36	120
		—	5	4	70	240
		—	5	1	18	60
		—	6	4	93	284
		—	8	2	36	120
		—	9	4	73	192
		—	10	5	110	240
		—	10	3	54	180
		—	11	2	50	160
久遠郡大成町長磯 Taisei, Kuon	土留工(柵工) Earth retaining work (Fence work)	—	11	4	72	240
		—	3	2	46	184
瀬棚郡瀬棚町島歌長浜 Setana, Setana	土留工(柵工) Earth retaining work (Fence work)	—	5	2	56	184
		—	5	2	56	184
爾志郡熊石町ひらたない Kumaishi, Nishi	土留工(柵工) Earth retaining work (Fence work)	—	8	5	145	416
		—	8	5	145	416
天塩郡遠別町 Enbetsu, Teshio	防風柵工 Windbreak fence work	—	3	2	28	112
		—	4	2	28	112
		—	5	2	28	112
		—	6	2	28	112
		—	7	2	28	112
		—	10	2	28	112
		—	11	2	28	112
		—	11	2	28	112
留萌郡小平町 Obira, Rumoi	土留工(柵工) Earth retaining work (Fence work)	—	6	2	36	120
		—	7	2	36	120
		—	8	2	36	120
合計 Total				100	2,117	6,796

2. 調査方法

2.1 調査を行った木製土木構造物

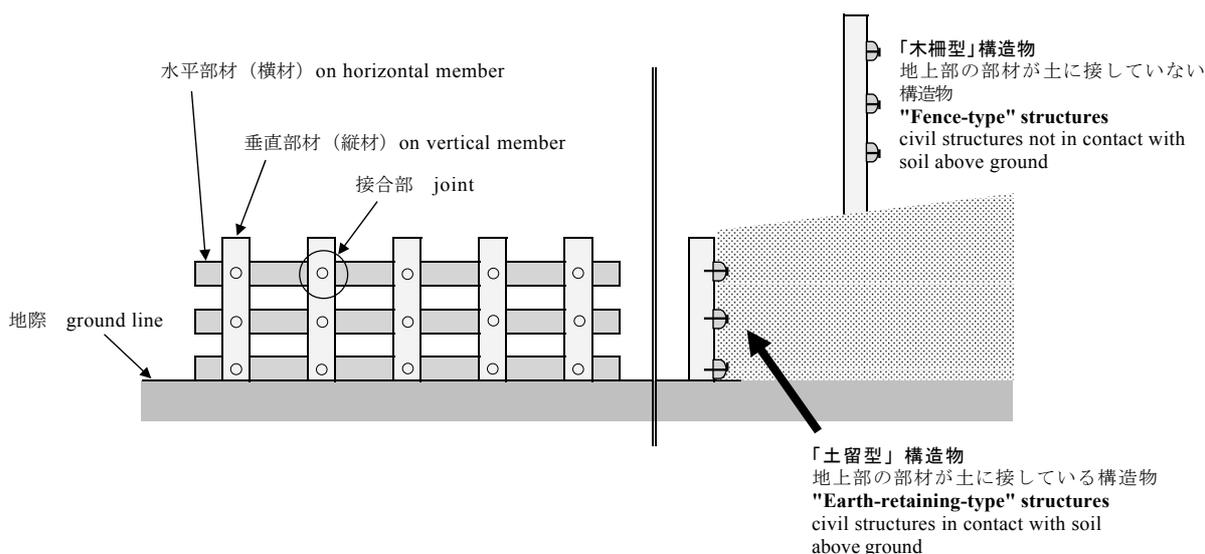
土木構造物として使用されているカラマツ丸太（直径 10～15 cm，主に剥皮丸太）の腐朽被害を把握するために，北海道水産林務部治山課あるいは北海道森林管理局旭川事務所が管轄する木製土木構造物から調査対象物件を選定・整理し，道内の 12 か所・38 地点に設置された 100 件の構造物（主に土留め工，防風工などの柵工）の約 2,000 の部位に対し調査を実施した（第 1 表）。

2.2 調査方法

目視による被害度およびピロディン（PILODYN，スイス Proceq 社製，ピン直径 2.5mm）の打ち込み深さ（以下， P_e ）を劣化の指標とし，垂直部材（以下，縦材）および水平部材（以下，横材）の地際部分や

接合部分などにおける木材の劣化状態を調べた（第 1 表，第 1 図）。目視による被害度は，第 2 表に記した森林総合研究所の方法²⁾（被害度評価法）に従い，調査部位の被害程度を被害度 0 の「健全」から被害度 5 の「崩壊」までの 6 段階で評価した。一般的に，被害度が 2.5 に達した年数が耐用年数とされている。一方，ピロディンを用いる方法では，調査部位の同一円周上でピロディンのピンをほぼ等間隔に 4 点打ち込み，その平均を測定値とした（以下，平均 P_e ）。

データは縦材と横材，および地際と地上部（非地際）に分類し，また土留工などのように構造物の片面が土砂に接地して地上の部材も土に接しているもの（以下，「土留型」構造物）と，防風柵工のように地際・地中以外は土砂と接地していないもの（以下，「木柵型」構造物）にそれぞれ分けて集約した。



第 1 図 調査対象とした構造物の模式図

Fig. 1. Diagram of wooden civil engineering structures investigated.

第 2 表 被害度の評価基準

Table 2. Standards of damage grading.

被害度 Damage grade	観察状態 Observed condition
0	健全 Sound (no damage)
1	部分的に軽度の虫害または腐朽 Partial, slight damage
2	全面的に軽度の虫害または腐朽 Slight damage all over the inspected points
3	2の状態のうえに部分的にはげしい虫害または腐朽 Partial, severe damage, in addition to damage grade 2
4	全面的にはげしい虫害または腐朽 Severe damage all over the inspected points
5	虫害または腐朽により形がくずれる Destroyed

3. 結果

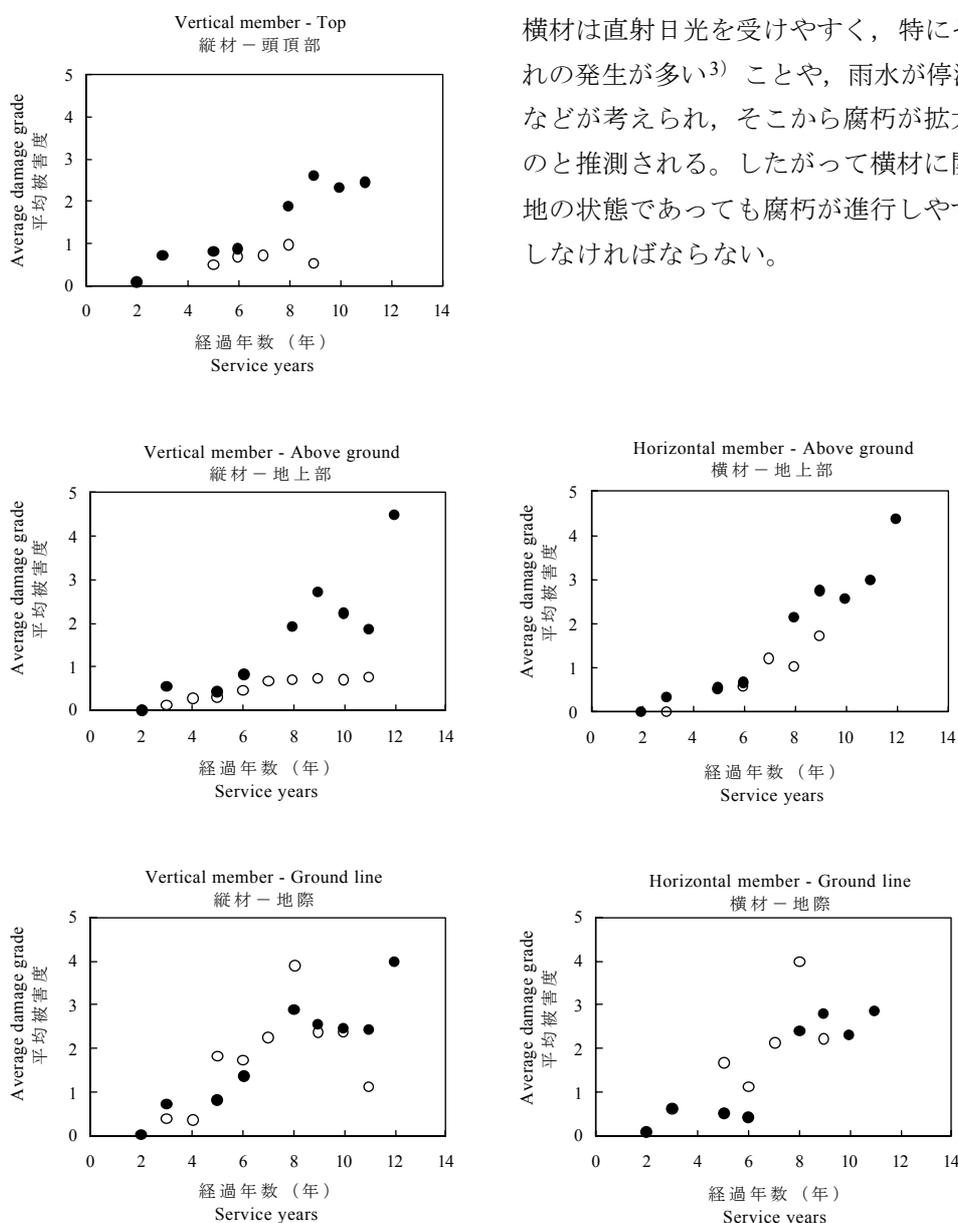
3.1 土木構造物の各部材における腐朽状況

無処理材における平均被害度の経時変化を第2図に、平均Peの経時変化を第3図にそれぞれ示した。

地上部に設置された縦材については、「木柵型」構造物ではほとんど変化が見られなかったのに対し、「土留型」構造物では時間が経過するにつれて腐朽が進行していた。地上部における横材では、「土留型」構造物および「木柵型」構造物のいずれにおい

ても腐朽の進行が見られたが、「土留型」構造物の方が腐朽の進行が顕著であった。一方、地際に設置された部材についてはいずれも、「土留型」構造物および「木柵型」構造物における腐朽の進行に大差は認められず、時間の経過に伴い被害が増大する傾向が見られた。以上のことから、いずれの構造物においても接地部分の部材が最も早く劣化し、構造物としての残存強度・耐力を推定する上で重要な部位であることがわかる。

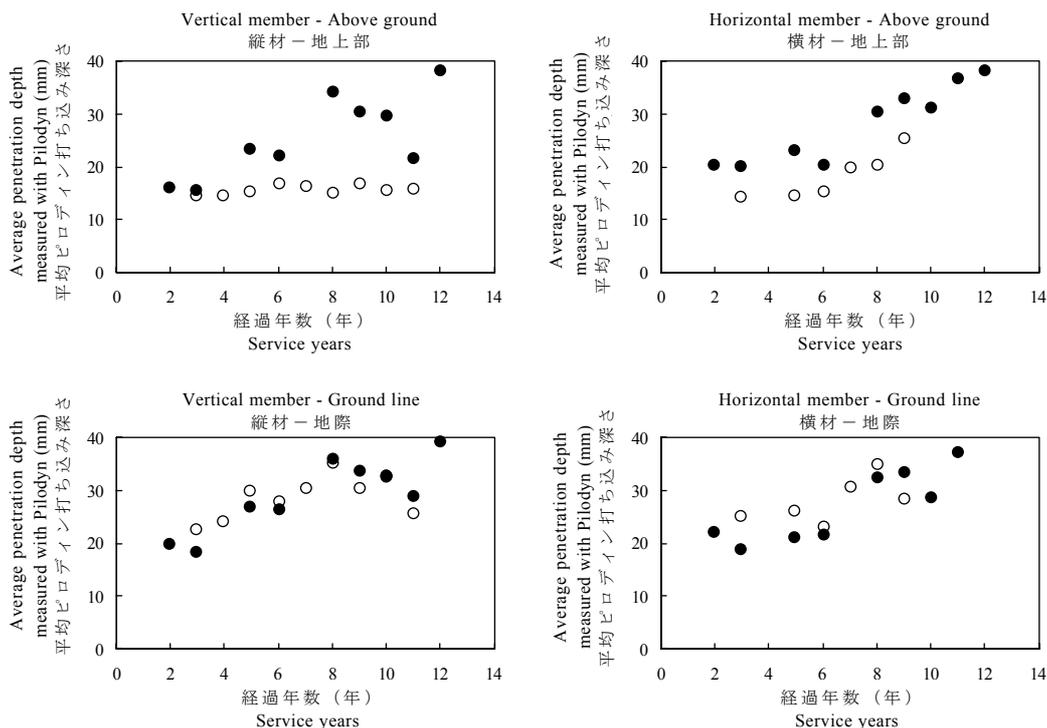
「木柵型」構造物では、地上部の横材における腐朽が比較的速く進行していたが、これは縦材に比べて横材は直射日光を受けやすく、特にその上面に干割れの発生が多い³⁾ことや、雨水が停滞しやすいことなどが考えられ、そこから腐朽が拡大していったものと推測される。したがって横材に関しては、非接地の状態であっても腐朽が進行しやすいことを考慮しなければならない。



第2図 木製土木構造物に使用されている無処理カラマツ材の平均被害度

Fig. 2. Average damage grades on untreated Japanese larch used in civil engineering structures.

凡例) ●: 「土留型」構造物, ○: 「木柵型」構造物
Legend) ●: "Earth-retaining-type" structures, ○: "Fence-type" structures



第3図 木製土木構造物に使用されている無処理カラマツ材の平均ピロディン打ち込み深さ

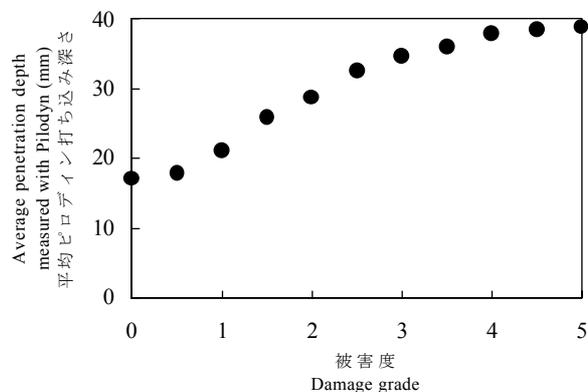
Fig. 3. Average penetration depth measured with Pilodyn on Japanese larch used in civil engineering structures.

凡例) 第2図参照

Legend) Shown in Fig. 2.

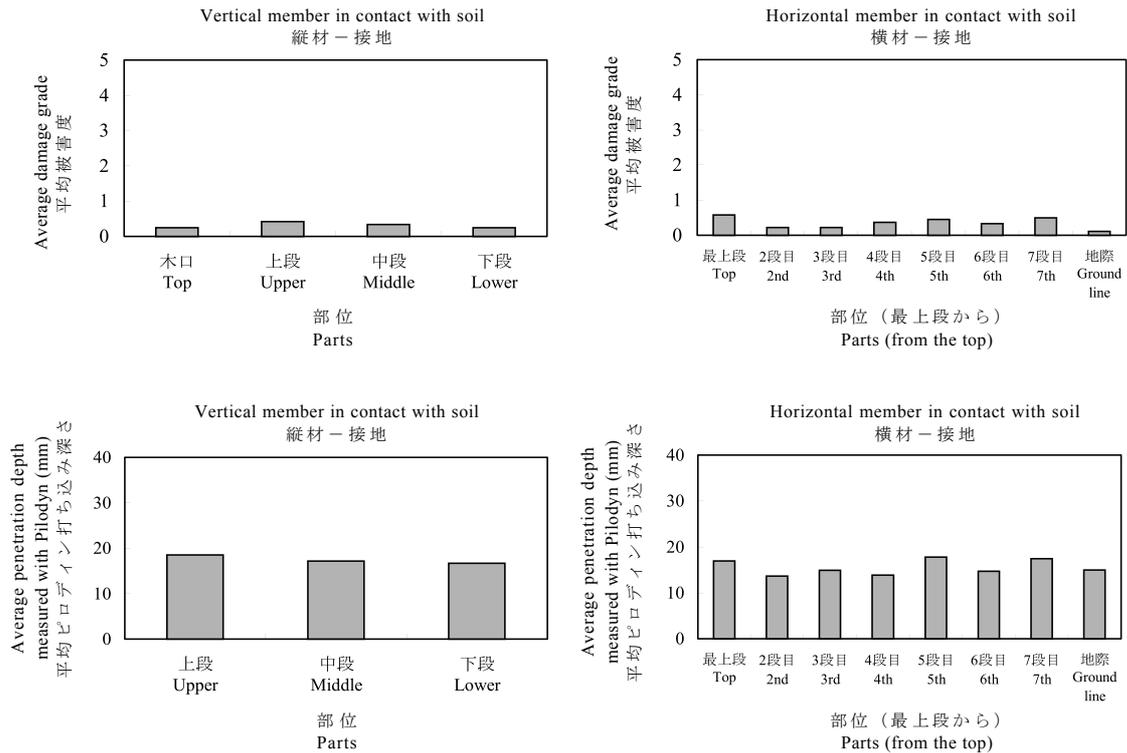
被害度評価法に従い、目視による被害度から判断した無処理材の地際部分における耐用年数はおよそ8～9年程度と考えられる。また、被害度と平均Peの関係(第4図)から、平均Peによる耐用限界(被害度2.5の状態)の指標はおよそ30mm程度であると推定された。

一方、低毒性の木材保存剤であるCuAz(銅・ホウ酸・アゾール)を加圧注入した部材における平均被害度および平均Peの経時変化を第5図に示した。これらの部材は、ブロック積工として使用されて10年および11年を経過していた。土留めを目的とした構造物なので、すべての部材が土に接した状態であるにもかかわらず、いずれの部材・部位における腐朽はほとんど認められず、設置後10年を経過してもほぼ健全な状態を維持しており、平均Peも20mmを下回っていた。図には示していないが、11年を経過したのも同様の傾向を示した。このことから、CuAzによる加圧注入処理材は、腐朽が発生しやすいと考えられる接地条件下にあっても少なくとも11年以上の耐用年数を期待できることがわかった。



第4図 木製土木構造物に使用されているカラマツ材における被害度と平均ピロディン打ち込み深さの関係

Fig. 4. Relationship between damage grade and average penetration depth measured with Pilodyn on Japanese larch used in civil engineering structures.



第5図 木製土木構造物に使用されているCuAz加圧注入処理カラマツ材の平均被害度および平均ピロディン打ち込み深さ（10年経過）

Fig. 5. Average damage grade, and average penetration depth measured with Pilodyn on CuAz pressure-impregnated Japanese larch used in civil engineering structures. (after a lapse of 10 years)

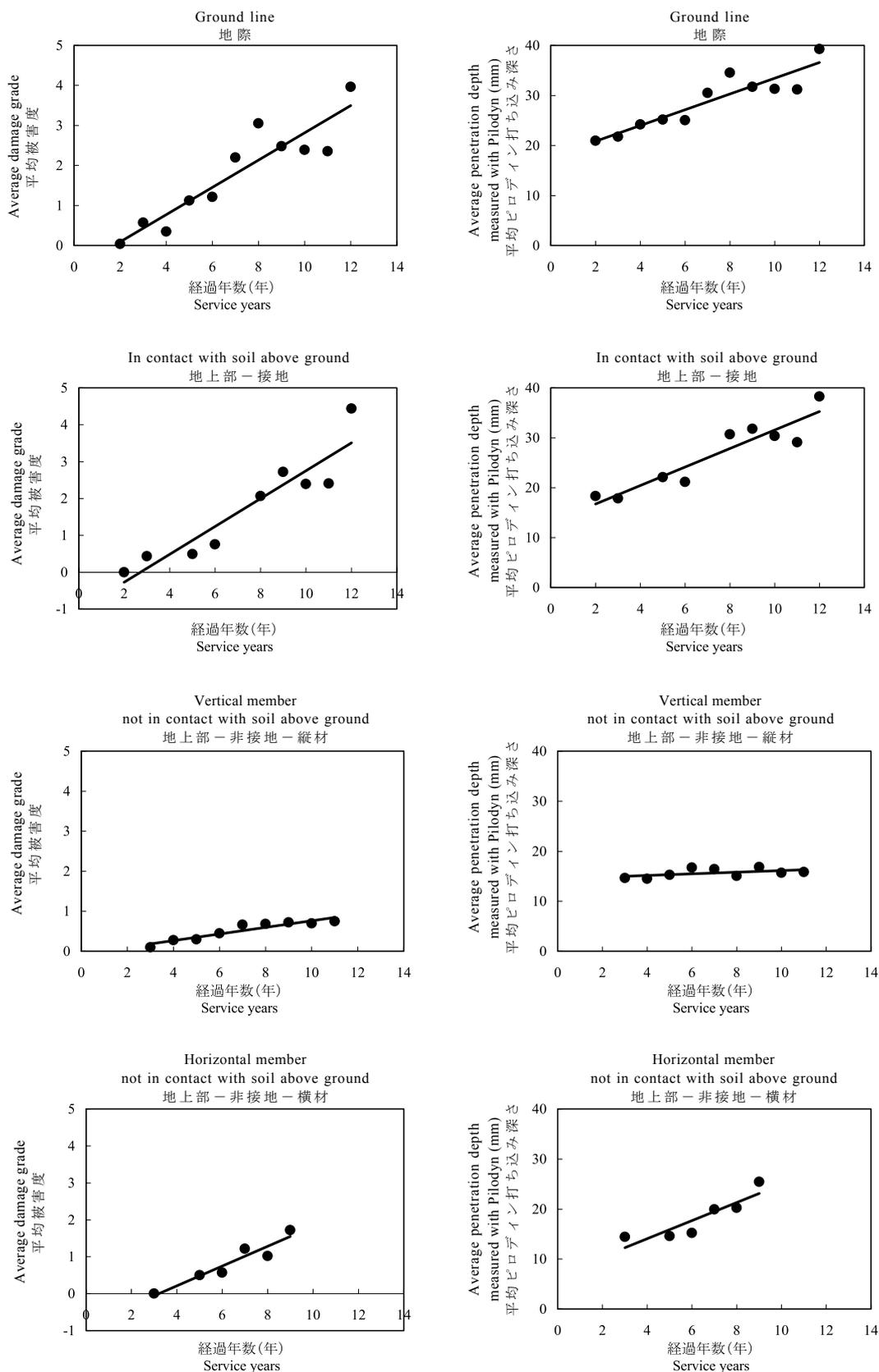
4. 考察

4.1 無処理の土木構造物における腐朽進行パターン

第2, 3, 5図で示した結果から、地際においては「土留型」・「木柵型」あるいは縦材・横材に関わらず腐朽が発生しやすい状況であると考えられ、実際、これらのデータはほぼ同様の傾向を示していた。また、地上部ではあるが土に接している部材の場合、縦材および横材のいずれも腐朽による被害を受ける可能性が高くなる。また地上部で土に接していない部材の場合、縦材と横材では腐朽の進行状況が異なる。これらのことを踏まえ、各部材がおかれている環境ごとに、「地際にある部材」、「地上部で土に接している部材」、「地上部で土に接していない縦材」、および「地上部で土に接していない横材」の四つの部位に分けて結果を集約したものが第6図である。このように、四つの部位における腐朽の経年変化を明らかにすることができた。「地際にある部材」と「地上部で土に接している部材」はほぼ同様の傾

向を示し、地上部でも接地している部材は地際と同様に腐朽する危険性がある。また、「地上部で土に接していない横材」も、接地している部材に比べて腐朽の進行は緩やかではあるが、年数を経るに従い被害が増大していくことから、注意が必要な部位である。「地上部で土に接していない縦材」における腐朽の進行はかなり緩やかであった。これらの四つの部位における腐朽の経年変化の結果から、土木構造物における腐朽の進行パターンは「接地部材」、「非接地の縦材」および「非接地の横材」の三つに分類できる可能性が示唆された。

前述のように、木材の耐用年数を評価するための手法として、目視による被害度評価法があり、日本で用いられている主要な木材の耐用年数はこの手法により決定されている。すなわち、 $3 \times 3 \times 60\text{cm}$ の杭材を用いた野外杭試験を行い、被害度評価法によって（主に地際における）被害度が2.5に達した年数を耐用年数としている。例えばカラマツの耐用



第6図 木製土木構造物に使用されている無処理カラマツ材における部位ごとの平均被害度および平均ピロディン打ち込み深さの経年変化

Fig. 6. Changes in average damage grade and average penetration depth measured with Pilodyn on untreated Japanese larch used in civil engineering structures, classified based on differences between portions.

年数は、辺材で4.0年、心材で6.0年とされている⁴⁾。また、中村⁵⁾が行った試験では、カラマツ心材（一部辺材を含んだ杭材）の耐用年数は約3年であった。これらの結果と比較して、本検討で得られた耐用年数は長くなっている。木材の形状や設置された条件などが異なっているため一概に比較はできないが、北海道は寒冷であり、なおかつ治山構造物が設置されることが多い比較的山側の気象環境がその一因であると推察される。

4.2 土木構造物の耐久性予測方法

目視による被害度によって決められた耐用年数（カラマツ心材の場合は6年）は、木材の耐朽性を把握するための指標として広く利用されている。しかし、前述のように使用環境や用途によって耐用年数が異なると考えられ、強度との関連も不明な部分が多い。このような課題に対し、長谷川ら⁶⁾は、耐用年数の指標として折損率を導入し、富山県で治山用途に用いられた木杭の折損率が10%となった時点（被害度3.4）を耐用年数とし、その場合のカラマツの耐用年数は約8.7年であると報告している。このように、強度的な指標を含んだ耐朽性・耐用年数の考え方は、具体的で実用性が高いと考えられる。

本研究では、北海道に設置された土木構造物の各部材における腐朽の経年変化を明らかにした。この結果に強度的な指標を加え、なおかつそれらを構造計算などに反映させることにより、構造物としての耐力変化の予測が可能になるとともに、汎用的な資料として利用できると考えられることから、現在、検討を進めている。

5. 結論

北海道内に設置されたカラマツ製土木構造物の腐朽調査を行った。得られた結果は以下のとおりである。

1) 目視による被害度から判断した無処理材の地際

部分における耐用年数はおよそ8～9年程度、またその時のピロディンによる平均打ち込み深さはおよそ30 mm程度であると推定された。

- 2) CuAzで処理された部材は、設置後11年を経過してもほぼ健全な状態を維持し、ピロディンによる平均打ち込み深さも20 mmを下回り、接地条件下にあっても少なくとも11年以上の耐用年数を期待できることがわかった。
- 3) 土木構造物の四つの部位、すなわち「地際」、「地上部－接地」、「地上部－非接地－縦材」および「地上部－非接地－横材」における腐朽の経年変化を把握することができた。これらはさらに「接地部材」、「非接地の縦材」および「非接地の横材」の三つの腐朽進行パターンに集約できる可能性が示唆された。

文 献

- 1) 奥村真由己ほか3名：林産試験場報，**11**(1)，1-5 (1997).
- 2) 雨宮昭二：林試研報，No.150, 143-156 (1963).
- 3) 矢田茂樹：木材保存，**17**(4)，5-13 (1991).
- 4) 松岡昭四郎ほか5名：林試研報，No.232, 109-135 (1970).
- 5) 中村嘉明：奈良県林試研報，No.23, 15-22 (1993).
- 6) 長谷川益夫ほか8名：木材保存，**19**(1)，13-22 (1993).

－性能部 耐朽性能科－
 －*1：性能部 主任研究員－
 －*2：性能部 構造性能科－
 －*3：技術部 加工科－
 (原稿受理：05.12.5)