

ボンゴシ床版材の劣化度と経年変化

Deterioration and aging on ekki members under using timber bridge

○渡辺 浩* 島田 里美** 平川 麻里子**

WATANABE Hiroshi, SHIMADA Satomi and HIRAKAWA Mariko

*博(工) 福岡大学工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1)

**熊本大学工学部環境システム工学科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

ABSTRACT Ekki is one of the hard wood grown in west Africa and famous for timber bridge member, because it was considered to be hard, strong and durable. However some bridges made of it has problems due to deterioration.

The model bridge is suspension bridge with Ekki deck members. It is 15 years old and all deck members were diagnosed and recorded in detail 4 years ago in order to treat quantitatively the deterioration and investigate the advances. The aim of this study is reexamine it and obtain the advances in this 4 years.

Keywords: ボンゴシ、床版、腐朽、診断、補修

Ekki, deck member, deterioration, diagnosis, repair

1 はじめに

西アフリカ産のボンゴシ(エッキ)材は大断面部材が得られ、また高強度かつ耐久性に優れた木材として、オランダで過酷な環境下におかれる木橋や水門等の構造物に利用されてきた。日本には20年ほど前に導入され、これまでにかかなりの数の木橋が架けられてきている。それらは、当初はメンテナンスフリーで相当期間供用できると考えられており、構造面でも積極的な耐久性向上策はとられなかった。しかしながら、ある報告¹⁾を契機として、現在では適切な耐久設計が必要との認識がなされるようになってきている。

既設の構造物では適切な維持管理も必要とされてきている。しかし、ボンゴシ材では一見健全な部材であっても内部では急激な腐朽が進行する場合があります、その診断には特殊な知識が必要とされる。そこで筆者らは吊床版橋の床版材に用いられたボンゴシ材約200本に対して供用後12年の時点で健全度診断を行い、ボンゴシ材の診断には木材腐朽菌の子実体の有無、打診および超音波伝搬速度を用いることにより、比較的容易にその劣化度を推定することが可能であることを明らかにした²⁾。しかしながら腐朽の速度や傾向等については不明な点も多い。そこで本研究では、上記の診断から4年が経過した時点で同様な健全度診断を再度行い、この4年間における腐朽の進行度や診断法の適用性等について検討することを目的とするものである。

2 調査対象橋と12年目診断の概要

調査対象橋は平成2年に竣工した写真-1のような歩道橋である。橋長56mの吊床版橋で、4本の鋼ワイヤーの上に直接木床版材を敷き並べただけの簡単な構造を有している。床版材には断面150×150mm、長さ3mのボンゴシ材223本が使用されている。これらには相互に100mmの間隔

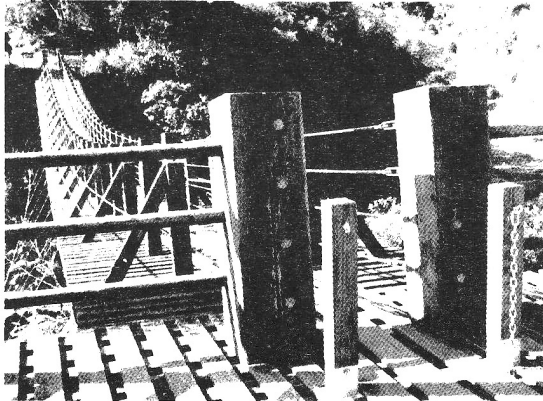


写真-1 調査対象橋

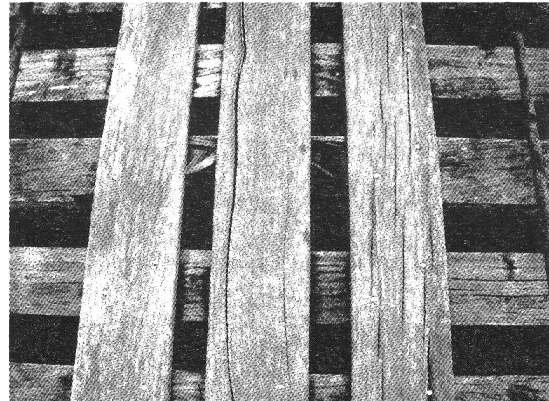


写真-2 著しく腐朽した床版(12年目診断時)

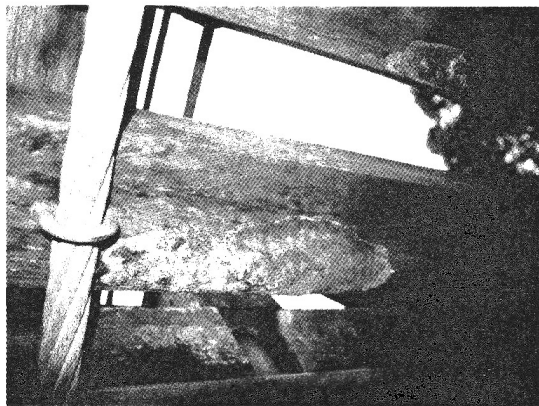


写真-3 床版下面に付着した子実体(12年目診断時)

表-1 非破壊診断の結果のまとめ(12年目診断時)

打診レベル 超音波 伝搬速度(m/s)	0	1~6	7~ (異常)	合計
3892~	123 (6)	13 (1)	1 (1)	137 (7)
2724~3892	20 (3)	12 (4)	3 (2)	35 (10)
~2724 (異常)	0	4 (3)	16 (15)	20 (18)
合計	143 (9)	29 (8)	20 (17)	192 (35)

() 内数字は子実体が観察されたものの内数

がとられているため、腐朽は隣接部材の影響を受けない。また部材を取り外さずにそれぞれを診断することができるという点で、診断や腐朽に関する調査には好適である。

竣工後12年が経過した平成13年12月の時点では、本橋には写真-2, 3のような異常が見られた。写真-2は腐朽により断面が欠損した例である。また、写真-3は床版下面に付着した木材腐朽菌の子実体の例である。この子実体は一見健全と思われる床版でも観察され、かなりの床版で腐朽が進んでいることが推察された。

そこで、これらの床版について、表面目視、子実体の有無の観察、打診、含水率測定、超音波伝搬速度測定、ピン打ち込み深さ測定、穿孔抵抗測定、および腐朽菌の同定の各種診断を実施した²⁾。以下これらを12年目診断という。表-1は12年目診断での3種類の診断の結果を示したものである。すると打診により異常と判定された床版材20本のうちの8割が超音波伝搬速度でも異常と判定され、それらのほぼ全てで子実体が付着していることがわかる。図-1はそのうちのある部材の断面の穿孔抵抗の測定結果を示している。図の両端に位置する表面部分にしか抵抗が測定されないことから、内部ではほぼ空洞に近いほどに腐朽が進行していることがわかる。これらのことからボンゴシ材では子実体の有無、打診および超音波伝搬速度により非破壊で精度よい診断が可能であることが確認できた。

3 診断の方法と結果

3.1 概要

以上の知見を踏まえ、12年目診断から4年後となる平成17年12月に上述の3種類の非破壊診断法、すなわち子実体の有無の観察、打診および超音波伝搬速度の測定を、同様な方法で実施し

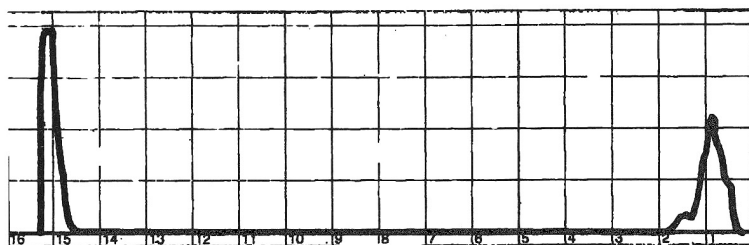


図-1 床版断面の穿孔抵抗(12年目診断時)



写真-4 子実体の有無の観察

表-2 子実体の有無と12年目診断との比較

		12年目診断		
		なし	あり	合計
16年目診断	なし	138	10	148
	あり	9	18	27
	合計	147	28	175

た³⁾。以下これらを16年目診断という。なお、この4年間の保守により17本の床版がスギ材に交換または鋼材により補強されたため診断対象から除外した。また高欄柱が取り付けられ診断が不可能な31本を除外すると、診断対象は175本である。

3.2 子実体の有無

子実体とは木材腐朽菌の「きのこ」のことである。本橋では床版材が相互に接していないため、これが付着していればその部材自身が腐朽していることがわかる。子実体は一般に日陰となる下面に付着するが、本橋は渓谷を跨ぐ吊橋で橋下からの観察が不可能であることから、観察は写真-4のように点検鏡を利用して橋面上から行った。

表-2はその結果を12年目診断の結果とあわせてとりまとめたものである。12年目診断で子実体が観察された28本のうち、本診断でも子実体が観察されたのは18本のみであった。ただし、それらには乾燥してすでに機能が失われたと考えられるものもあった。一方で子実体がなくなっていた10本には以前子実体が付着していたと考えられる跡も見られた。これらのことから、子実体の有無は腐朽を知るための容易かつ確実な方法ではあるが、供用後長期間が経過したものではその有無のみで診断することはできない場合があることがわかる。

また、新たに9本で子実体が観察された。このうちの8本については12年度調査ではいずれの診断法によっても全く異常が認識できなかったものであり、この4年間においても腐朽が進行している部材があることもわかる。

3.3 打診

打診は、一般的な木材では難しい場合もあるが、表面が硬く内部で空洞を生じるようなボンゴシ材の診断では有効である。特に本橋の床版材では他の部材に接しておらず、また4本のケーブルのみに固定されているため音質の違いは明瞭である。ここでは12年目診断と同様に写真-5のように上面の6ヶ所を金槌により叩き、その打音を0(異常なし)、1(若干気になる)、2(かなり疑わしい)、3(明らかな異常)の4段階で判定し、それらの数値の和として各部材の診断レベ



写真-5 打診

表-3 打診レベルと12年目診断との比較

12年目診断 \ 16年目診断	0	1~6	7~	合計
0	72	2	0	74
1~6	55	15	2	72
7~	7	10	12	29
合計	134	27	14	175

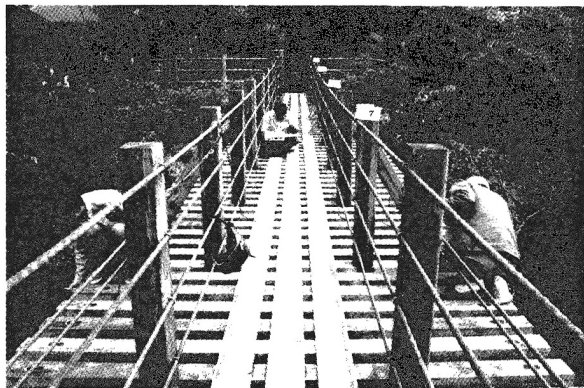


写真-6 超音波伝搬速度の測定

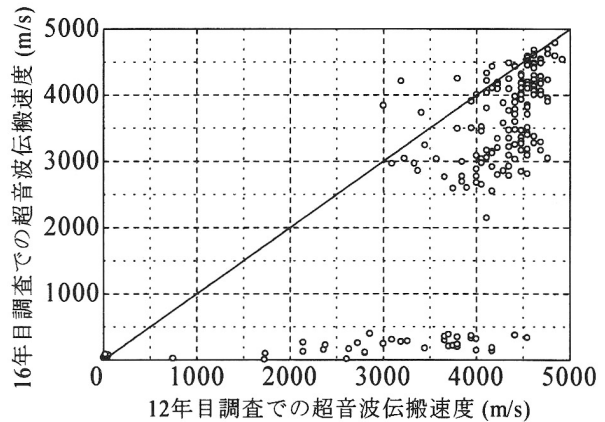


図-2 超音波伝搬速度

ルを求めた。なお、実施者は12年目診断時とは異なるが、両者の判定基準はほぼ同等となるよう筆頭著者により調整されている。

表-3はその結果を12年目診断の結果とあわせてとりまとめたものである。ここではいずれかの打診箇所でも2以上と判定された打診レベル7以上のものを異常と判定している。表によると、12年目診断で異常と判定されたものは14本であったのに対し、本診断では29本と倍増していることがわかる。これらには12年目調査で打診レベルが0、すなわち全く異常が認識されなかったものも含まれており、全体的にも打診レベルが大きくなっていることから、全体的な腐朽の進行をうかがうことができる。

3.4 超音波伝搬速度

硬質で内部腐朽が生じるボンゴシ材では超音波伝搬速度の違いも明瞭である。ここでは12年目診断と同様に写真-6のように両木口間で超音波伝搬速度を測定した。

図-2はそれぞれの超音波伝搬速度と12年目診断時のものの関係を示したものである。全体的に下へ移動している、すなわち速度が低下したことがわかる。表-4はこれらの関係を表-2, 3と同様に本数でまとめたものである。なお、ここでは一般的な特性値から計算した速度の期待値3892m/secの70%である2724m/secを下回るものを異常と判定している。

すると、異常と判定されたものはこの4年間で15本から3倍あまりの43本へと増加していることがわかる。これらには12年目調査で正常値であったものも多数含まれ、また全体的にも超音波伝搬速度が小さくなっていること等から、ここでも全体的な腐朽の進行をうかがうことができる。

表-4 超音波伝搬速度と12年目診断との比較

12年目診断 \ 16年目診断	3892~	2724 ~3892	~2724	合計
3892~	68	2	0	70
2724~3892	51	11	0	62
~2724	11	17	15	43
合計	130	30	15	175

() 内数字は子実体が観察されたものの内数

表-5 非破壊診断の結果のまとめ

打診レベル \ 超音波伝搬速度(m/s)	0	1~6	7~	合計
3892~	46	23	1(1)	70(1)
2724~3892	27(2)	34(2)	2	62(4)
~2724	2	15(8)	26(14)	43(22)
合計	77(2)	77(10)	29(15)	175 (27)

() 内数字は子実体が観察されたものの内数

表-6 12年目診断で健全とされた部材の診断結果

打診レベル \ 超音波伝搬速度(m/s)	0	1~6	7~	合計
3892~	46	23	1(1)	70(1)
2724~3892	26(2)	34(2)	2	62(4)
~2724	2	11(4)	12(5)	25(9)
合計	74(2)	68(6)	15(6)	157(14)

() 内数字は子実体が観察されたものの内数

表-7 12年目診断で子実体が確認されたが健全と診断された部材の診断結果

打診レベル \ 超音波伝搬速度(m/s)	0	1~6	7~	合計
3892~	1	2	0	3
2724~3892	2	1(1)	0	3(1)
~2724	0	1	6(5)	7(5)
合計	3	4(1)	6(5)	13(6)

() 内数字は子実体が観察されたものの内数

3.5 各診断法の相関と評価

表-5は表-1と同様に3種類の診断結果をまとめたものである。これらを基に以下の検討を行う。

(1) 腐朽は進行しているか

いずれの診断法からもこれらの部材の腐朽が今も進行していることがうかがえるが、このことを確認するために以下の検討を行う。表-6は12年目診断で健全であると診断された部材、すなわち表-1の太枠内の部材が16年目診断ではどのように診断されたかを示している。すると12年目診断では健全であったもののうち約1割で今回は異常と判定されており、腐朽が進行している部材が存在することがわかる。

また表-7は12年目診断で子実体が確認されたが健全であると診断された部材、すなわち表-1の太枠内のうち括弧の部材が16年目診断でどのように診断されたかを示している。表より約半数はいずれの診断法によっても異常と判定されるようになってきていることがわかる。このことから、打診や超音波伝搬速度で異常が認識できない場合でも子実体が観察されれば腐朽は進行しつつあることがわかる。一方で残りの半数は打診や超音波伝搬速度でも異常とはいえないと診断されている。これらからはいずれも子実体もなくなっていることから、腐朽は限定的でありその進行もほぼ止まっていることがうかがえる。

ボンゴシ材の腐朽の事例では、腐朽は当初の10年間で急激に進行するがその後はあまり進行していないように見えることが多いと言われている。本橋も同様ではあるが、やはり腐朽は進行しているということに注意する必要がある。

(2) 打診と超音波伝搬速度による診断精度

打診により異常と判定されたもののほとんどは超音波伝搬速度、あるいは子実体の存在からも異常と判定されている。その割合は9割であり、12年目診断の8割と比較するとその精度はさらに向上している。

一方で超音波伝搬速度から腐朽と判定されたものでは、打診で異常と判定されるものは6割で

あり、診断精度が低下していることがわかる。このうち打診レベルが1～6、すなわち疑わしいレベルのものが15本と多く、そのうちの2本は12年目診断の打診では異常とされていたものである。このことから、16年目診断では12年目診断よりも打診による診断が若干難しくなっていることがうかがえる。その原因は不明であるが、表面の劣化も少なからず影響しているものと考えられる。

表-8 補修された部材の12年目診断での評価

打診レベル 超音波 伝搬速度(m/s)	0	1～6	7～	合計
3892～	7	0	0	7
2724～3892	2 ①	2	1 ①	5 ②
～2724	0	0	5 ⑤	5 ⑤
合計	9 ①	2	6 ⑥	17 ⑦

○数字は鋼補強がなされたもの内数

(3) 子実体が減っているのはなぜか

子実体が観測された部材は12年目診断では18%であったが、今回は15%と減少していた。ただし、12年目診断時には子実体が観測された11本を含めると21%と増加していることになる。子実体がなくなったのは、その部材では初期に腐朽が急激に進行しその後はほぼ止まったため、そのため全体的に腐朽が進行しているにもかかわらず子実体が減っていると考えられる。乾燥してその機能を失ったような子実体が観測されたのも同様な原因に起因するものと考えられる。これらのことから、初期の段階からの定期的な目視診断が重要であることがわかる。

(4) 補修対象は適切であったか

12年目診断の後に17本の部材が交換または鋼材により補強されている。表-8はそれらが12年目診断でどのように評価されていたかを示している。すると交換や補強された部材のうちその必要があるほどに劣化していたのはわずか3割であったことがわかる。これは交換や補強の必要の判断がボンゴシ材の特性を理解せず外観のみでなされたためであると考えられる。このことから、特異な劣化性状を示すボンゴシ木橋の補修では、その特性を理解した上で実施されることが必要であることがわかる。

4 結論

本研究では、木橋の床版に使用されているボンゴシ材について竣工後16年目に健全度診断を実施し12年目の結果と比較することで腐朽の傾向や診断法の適用性等について検討した。本研究で得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- ・竣工後10年以上が経過し腐朽の進行が止まったように見える木橋でも腐朽は進行する。
- ・子実体の有無・打診・超音波伝搬速度により精度よく腐朽を診断することができる。ただし、供用年数の影響を受けることがある。
- ・ボンゴシ橋の補修ではその特性を理解した上で実施する必要がある。

謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金により実施しました。調査では中原美保（㈱十八測量設計）、松本剛（横河工事㈱）、井上大揮（熊本県警察）、山本健次郎、谷口貴子（以上熊本大学）の各氏の協力を得ました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 鈴木憲太郎, 軽部正彦, 宮武敦, 加藤英雄: ボンゴシ材を使った公園用木橋の落下について, 木材工業 Vol.55, No.2, pp. 78-81, 2000.2.
- 2) 渡辺 浩, 土居 修一, 伊藤 良介, 瀧内 浩: ボンゴシ材の健全度診断の方法とその評価, 木材工業 Vol.58, No.2, pp.66-70, 2003.2.
- 3) 土木学会木橋技術小委員会: 木橋技術の手引き 2005, 2005.7.