

# 第10章

## 参 考 资 料

## 第10章 参考資料

### 10.1 丸太杭周面支持力の現場確認

#### 10.1.1 敦賀港における現場実験<sup>1)</sup>

本実験では、埋土地盤を人工的に作製し、そこに実大規模のスギ丸太を打設し、それによる地盤対策効果の検討を行った。その結果、丸太の周面支持力の安全率は、当初の倍程度となり、時間の経過とともに安全側へ移行することが明らかとなった。

#### 【解説】

打設した丸太の周面支持力を求めるために、丸太の引き抜き試験を行った。

図-10.1.1に、丸太引き抜き試験の概念図を示す。軟弱地盤表面から深さ30cm程度地盤を掘り下げ、丸太頭部にワイヤーロープを巻き付けた後、丸太をクレーンで鉛直方向に引き抜いた。その際、クレーンの吊上げ荷重をまず1kN載荷し、1分間変位が生じなければさらに荷重を1kN上昇させ1分間待つという作業を繰り返した。吊上げ荷重は、クレーンのフックに取り付けた最大100kNまで計測可能なロードセルで計測した。また、引き抜き時の丸太の変位量は、丸太頭部に取り付けられた巻取り式変位計で計測した。

図-10.1.2に、丸太の引き抜き試験位置を示す。丸太の引き抜き試験は、排水機能付き丸太1本、丸太打設間隔0.5mおよび1.0mでそれぞれ1本ずつ合計3本実施した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 丸太間地盤の換算 $q_u$ は、SW試験結果より、丸太打設直前の値と比べ1年後には、丸太打設間隔1.0m区画で約1.5倍、0.5m区画で2倍以上大きくなった。
- (2) 丸太引き抜き試験より求められる粘着力とSW試験結果を比較すると、丸太打設から1年後のSW試験結果からの換算 $q_u$ は、平均値に比べ0.55~0.65倍であり、ばらつきの下限值付近に位置した。
- (3) 安全率は、地盤対策当初に比べ1年後には2倍程度まで増加し、実際の丸太寸法を考慮した場合には設計時の約1.2倍となる。

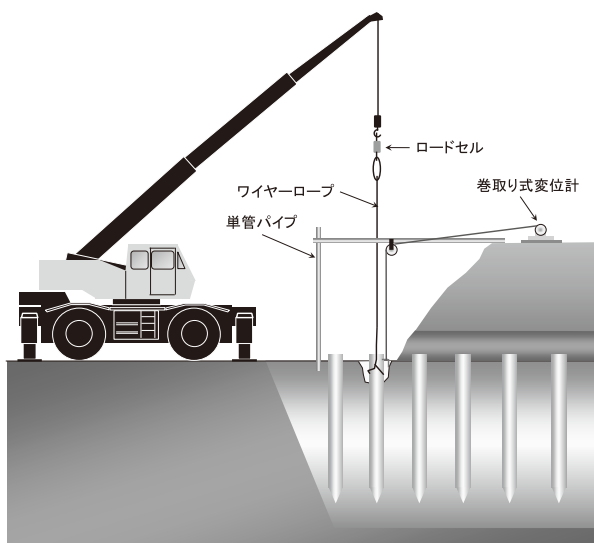


図-10.1.1 丸太引き抜き試験概念図

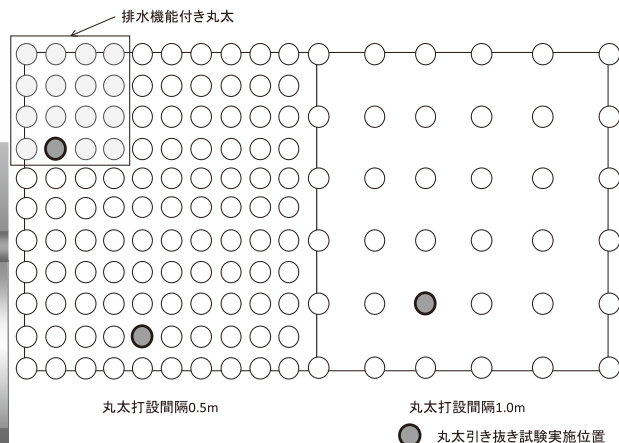


図-10.1.2 丸太引き抜き試験位置

10.1.2 佐賀県における現場実験<sup>2)</sup>

平成19年1月、佐賀県木材利用研究会では、施工後45年経過した樋門基礎の鉛直載荷試験を実施した。その結果、丸太杭1本当当たりの許容支持力では、実質上2.0程度の安全率が見込まれていたことになる。

試験後に引き抜いた丸太杭表面には厚さ1cm程度の粘土付着が認められた。この粘土付着確認により、丸太杭周面直近での粘土面の破壊が推定され、丸太杭の周面摩擦力度は、粘土の粘着力とほぼ同等との判断もできた。

## 【解説】

佐賀県南部の白石町大字戸ヶ里、二級河川廻里江川1k500付近左岸に位置する3連樋（1.6m×1.7m×3連、L=10m、基礎木杭末口径約18cm長さ8m）であり、樋門改築が計画されていた。既設樋門の取壊し前に、中央函渠部において鉛直載荷試験（1ヶ所）を行った。地質特性は、N値0のシルト層が約14m、その下にN値10程度の軽石混じり火山灰質砂層が堆積していた。

鉛直載荷試験のlog(P)～S曲線、log(P)～log(P)曲線より、極限支持力は135.0kN、降伏荷重は110.0kNと判定した。

現地土質試験結果より算出した丸太杭1本当当たりの極限支持力は98kNであった。丸太杭1本当当たりの許容支持力では、実質上 $1.5 \times 135.0 / 98.0 = 2.0$ 程度の安全率が見込まれていたことになる。

10.2 文献調査<sup>3)</sup>

文献調査の結果、以下のことが分かった。

- (1) 地下水位変動域や地下水位変動域以浅に設置された木材は、腐朽しているものと健全なものがある。
- (2) 地下水位変動域以深に設置された木材は、樹種に関係なく100%が健全であり、このような環境下では土木資材として十分な期間健全性を保つことがわかった。
- (3) 土木資材としては一般にカラマツ、ベイマツを含めたマツが多く使われるが、スギについても同様に地下水位変動域以深では健全性を保つことがわかった。
- (4) 収集されたスギは、設置期間が最大で26年であり、今後さらにデータを集め長期健全性を明らかにする必要がある。

## 【解説】

## 10.2.1 調査方法

調査の目標は、木材使用時に課題となる腐朽についての現状である。そこで、調査対象は、主に構造物基礎を対象とした地中にある木杭と、河川工事に使用される木材とした。調査対象とした資料は、(1)土木学会年次学術講演会論文集（1999年～2006年の8年分）、(2)地盤工学会地盤工学研究発表会講演概要集（2002年～2006年の5年分）、(3)その他であり、全部で53の文献である。

調査項目は、(1)対象構造物、(2)木材用途、(3)使用場所、(4)施工時期、(5)調査時期、(6)設置期間、(7)樹種、(8)木材寸法、(9)地盤との関係、(10)地下水位、(11)木材の腐朽状態（地下水位以浅、変動域、地下水位以深）、(12)その他である。

## 10.2.2 調査結果

53の文献より、47地点のデータが得られた。得られたデータの内約2割が鉄道または道路橋梁

の基礎であり、約2割がビルまたは住宅の基礎であり、約4割が河川構造物である。47地点の樹種の内訳は、松または松杭と記述されたものが3割である。この中には、カラマツ（カラマツ属）、アカマツ（マツ属）、ベイマツ（トガサワラ属）が含まれると考えられるが、これらを総称して松杭とすると、松杭は全体の約4割である。一方、スギも全体の約4割を占める。図-10.2.1に、構造物基礎とし、鉄道および道路橋基礎、ビル住宅基礎、火力発電所水路基礎に用いられた木材の樹種を示す。不明を除けば、全てがカラマツ、アカマツ、ベイマツを含めた松杭である。図-10.2.2に、河川構造物に用いられた木材の樹種を示す。約2割がアカマツ、ベイマツを含めた松杭であるが、残り8割はスギである。これは、一般的にスギはカラマツ、ベイマツと耐朽性は同等で、アカマツやクロマツなどよりも耐朽性が高いことや、近年聖牛のような過去使用された工法を見直し木材を使用することがあり、この際現在大量に存在しているスギを使用したということが考えられる。図-10.2.3に、木材の設置期間を示す。約半数が10年未満であるが、約2割は50～100年であり、データの中で最も古いものは、浜松町駅近くの山手線および京浜東北線のレンガ造アーチ高架橋基礎の90年であった。

図-10.2.4～図-10.2.6に、それぞれ地下水位変動域以浅、変動域、変動域以深における腐朽状態を示す。地下水位変動域以浅や変動域では、健全であったものが6割あるが、腐朽したのも4割であることがわかる。このように、地下水位変動域以浅では、腐朽する場合としない場合があるようであり、今後どのような条件でこのような差が生じるのかを明らかにしていく必要がある。一方、地下水位変動域以深では、100%が健全であり、地下水位以深では腐朽が進行しないことが過去のデータから明かとなった。

図-10.2.7に、地下水位変動域以深における樹種の割合を示す。樹種は、カラマツ、アカマツ、ベイマツを含めた松杭が5割以上を占め、スギも3割近く存在している。一般に、土木工事用の木杭にはカラマツやベイマツを含めた松杭が使用されているが、スギも地下水位以深であれば腐朽が進行せず健全であることがわかる。図中には、それぞれの樹種の内、最も古かった年代を併記した、アカマツ、ベイマツ、松杭はいずれも50年以上経過したものがあり、水中下であればかなりの長期間健全な状態を保つことが確認された。一方、スギは調査した範囲では最大で26年であった。

以上より、今回の調査範囲で木材は、地下水位変動域以深であれば樹種に関係なく、腐朽は進行せず健全であることが分かった。一般に土木工事においては松杭が多く使われ、腐朽に対しても抵抗性が高いように思われているが、スギであっても地下水位変動域以深であれば抵抗性が高いことがわかる。なお、旧建築基礎構造設計基準によればスギは、アカマツ、クロマツ、カラマツ、ベイマツと比べると圧縮強度は低く、木材の分野ではスギの耐朽性はカラマツ、ベイマツと同等でありアカマツやクロマツよりもむしろ優れているとされている。

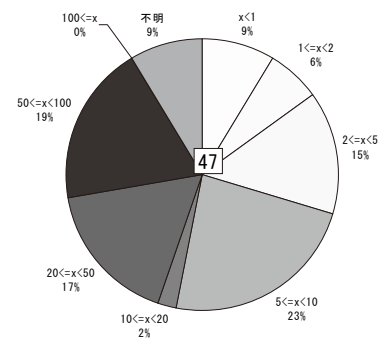
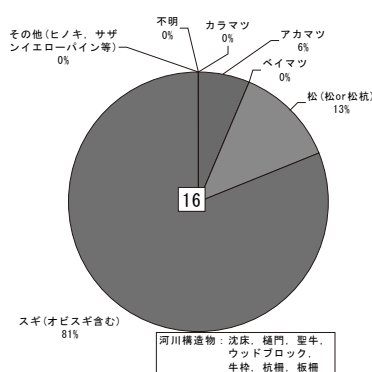
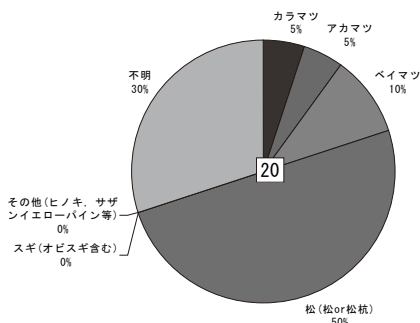


図-10.2.1 基礎・ビル住宅基礎に用いられた木材の樹種  
 図-10.2.2 河川構造物に用いられた木材の樹種  
 図-10.2.3 木材の設置期間

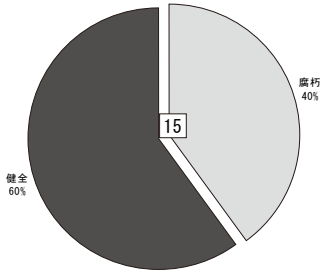


図-10.2.4 地下水位変動域以浅における腐朽状態

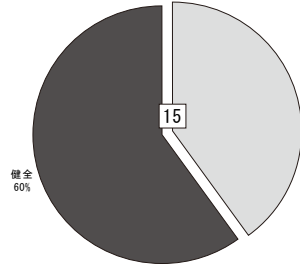


図-10.2.5 地下水位変動域における腐朽状態

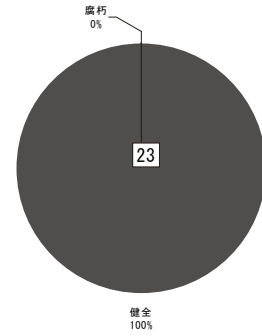


図-10.2.6 地下水位以深における腐朽状態

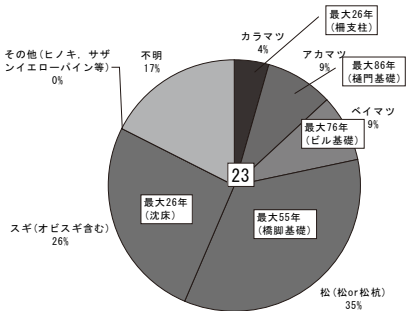


図-10.2.7 地下水位変動域以深における樹種

### 10.3 木杭基礎の掘出し調査<sup>3)</sup>

平成16年7月の福井豪雨では、福井市内を流れる足羽川の堤防決壊等により甚大な被害が発生した。その後、福井県では足羽川河川激甚災害対策特別緊急事業が採択され、平成16年度より5ヶ年計画で、河床掘削や橋梁架替等の工事（一部は福井縦貫線幸橋整備事業）が進められた。その工事の最中、足羽川河床より昔の橋梁の基礎と思われる丸太状の木杭が数多く発見された。

地球温暖化対策の一手段として木材の地中貯蔵によるカーボンストックに着目し、かつては土木工事において使用されてきた木杭利用の復活を提案しているが、金属やコンクリートに比べて木材の場合は腐朽による強度低下の心配があるため、現在では木材が基礎杭として利用される事例は極めて少ないのが現状である。しかしながら、近年、長期間地中や水中にあった木杭が健全な状態で発掘された事例が数多く報告されており、それらの腐朽程度や強度特性を定量的に明らかにすることは非常に意義深いことと考え、足羽川において掘り出された木杭の調査結果を示す。

#### 【解説】

##### 10.3.1 調査概要

木杭は足羽川の水越橋、幸橋、木田橋の架替工事現場において発見された。各橋梁の位置を図-10.3.1に示す。掘出し地点の様子を写真-10.3.1、地盤柱状図を図-10.3.2に示す。

##### (1) 水越橋

水越橋の約100m上流側の地点より、直径約30cm、長さ約5mの木杭3本と直径約10cm長さ1~2mの木杭9本が掘り出された。現場付近在住の技術者より、1958（昭和33）年の橋梁拡



張工事の際に設置された仮設歩道用の木橋の基礎杭との証言を得ており、設置期間は48年と推定できる。今回、掘り出された木杭の中では杭径、杭長ともに最も大きく、樹齢も100年以上と古かった。図-10.3.2(a)の柱状図に示す木杭の深度は、杭の観察より河川内の地盤表面位置を推定したものであり、杭頭は約1m河床より突出し、杭の大部分は砂層に貫入されていたと考えられる。

## (2) 幸橋

幸橋からは直径約20cm、長さ約2mの木杭2本が掘り出された。幸橋は1932（昭和7）年に木橋から鉄筋コンクリート橋に架け替えられたが、掘り出された木杭はそのP7橋脚基礎として使用されていたものであり、設置期間は74年と推定できる。掘出し作業は鋼矢板で川を締切り行われ、写真-10.3.1(b)に示すように河床には多数の木杭が0.9～1.0mの間隔で打設されており、杭長は1.4m～5.7mとばらついていた。図-10.3.2(b)の柱状図に示すように、表層付近に礫質土と礫混じり砂層があり、比較的N値も大きいことから、これらの層を支持層としていたと考えられる。

## (3) 木田橋

木田橋からは直径30cm、長さ3.5mの木杭1本が掘り出された。掘出し位置は現在の木田橋近くに架かっていた1928（昭和3）年施工の銭とり橋の橋脚基礎であり、設置期間は78年と推定できる。木杭は川のほぼ中央にあり、河川を鋼矢板で締切り河床面まで水位を下げて掘り出された。掘出し時には杭頭部約1.4mが地盤より上に出ていたが、試験室に搬入された木杭を観察すると、杭頭部約1.1mが長期間水で洗われたように滑らかに削られた痕跡があり、その上部が地盤表面より突出していたと考えられる。図-10.3.2(c)に示すように杭頭部が1.1mほど地盤より突出していたとすると、粘土層の下部にある砂質シルト層に杭先端があり、杭の大部分は粘土層内にあったと考えられる。杭頭部は水中に没していたと考えられるが、渇水期には水位面より上に存在していたと推測できる。

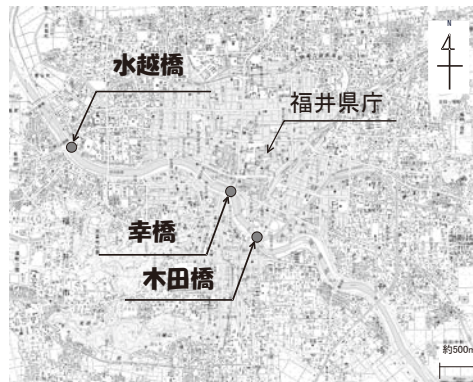


図-10.3.1 木杭の掘出し地点  
(国土地理院2万5千分の1地形図「福井」)



(a) 水越橋



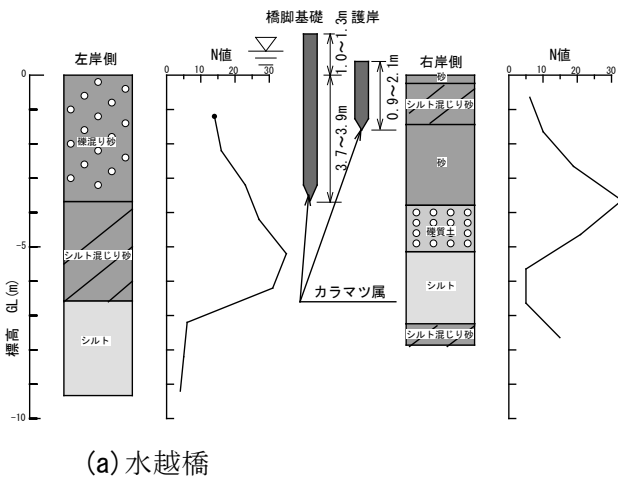
(b) 幸橋



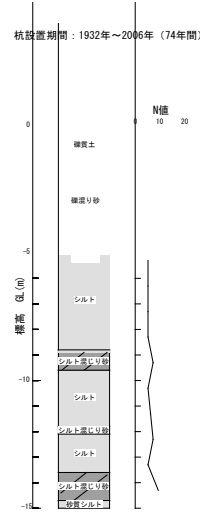
(c) 木田橋

写真-10.3.1 木杭の掘出し状況

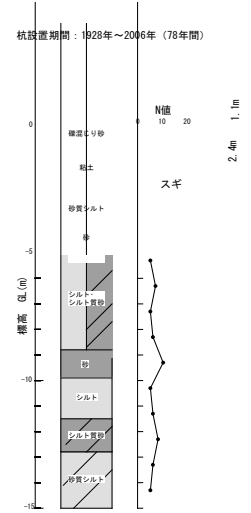
杭設置期間：推定1958年～2006年（推定48年）



(a) 水越橋



(b) 幸橋



(c) 木田橋

図-10.3.2 木杭掘出し地点の地盤柱状図

### 10.3.2 調査方法

#### (1) 目視による腐朽度評価

表-10.3.1に示す「木材保存剤の性能試験方法及び性能基準（JIS K 1571:2004）」に従い、A、B、Cの3名の評価者が目視により丸太の腐朽度を判定した。

なお、水越橋上流で護岸基礎として使用されていた丸太9本（AswMk04～12）については、腐朽の程度についてはいずれも同程度のように見えたので、割れていない（全周が残っている）ことおよび大きな節（こぶ）が無いことを基準として、AswMk05、06、08の3本を試験対象とした。後述する強度試験等もこの3本について実施した。

表-10.3.1 腐朽度の評価基準

腐朽度	観察状態
0	健全
1	部分的に軽度の腐朽
2	全面的に軽度の腐朽
3	2の状態の上に部分的に激しい腐朽
4	全面的に激しい腐朽
5	腐朽によって形が崩れる

#### (2) ピロディン貫入試験

掘り出した木杭から深度方向に50cm間隔で厚さ10cmの円盤を切り出し、これについて放射方向（表面）48点のピロディン貫入試験を実施した。なお円盤は、気乾状態と飽水状態の2通りの水分状態のものを作成し試験に供した。

#### (3) 縦圧縮試験

JIS（JIS Z 2101-1994）に準拠し木材試験体の縦圧縮試験および平均年輪幅と含水率の測定を行った。

10.3.3 調査結果および考察

表-10.3.2に調査結果一覧を示す。

(1) 目視による腐朽度評価

図-10.3.3～図-10.3.11にAswMk01、AswMk02、AswMk03、AswMk05、AswMk06、AswMk08、AswSw01、AswSw02、AswKd01の腐朽度評価の結果を示す。それぞれの判定の標高は各区間の中央値とし、実線は3者の平均値である。同図より、GL-1m以深では評価度の平均値が1以下となっており、健全であることがわかる。

(2) ピロディン貫入試験の結果

各木杭の深さ方向のピロディン貫入量について、飽和資料および気乾資料それぞれの結果をまとめたものを図-10.3.12～図-10.3.20に示す。各グラフには見やすさのために腐朽の目安となる貫入値30mmの線を引いた。同図から、半径方向の貫入量は気乾状態および飽和状態の双方においていずれの木杭においても基本的に30mmを下回っており、腐朽していないことが明らかとなった。軸方向の貫入値は30mmを超えている場合があるが、これは腐朽していない木材においても木材の軸に近い部分などでは一般的な値である。

(3) 縦圧縮試験の結果

試験結果の代表例として、図-10.3.21に木田橋の木杭（樹種：スギ属）について深度ごとの縦圧縮強さを示した。比較のために、1974年版日本建築学会「木構造設計基準・同解説」に示された杭材に関する普通構造材の繊維方向許容応力度のスギについての数値（長期応力に対する値、気乾状態、図中に「許容応力度」と表示）および、その湿潤状態に適用する値（気乾状態の70%、図中に「同湿潤時」と表示）の線を、さらにスギの標準的な圧縮強度（木材工業ハンドブックに掲載の平均値、図中に「気乾材標準値」と表示）の線を示した。

この図から、このスギ属の木杭の縦圧縮強度は標準的な値よりは弱いものの、許容応力度よりは高い値となっており、強度が大きく低下した訳ではなく健全性を保っていると評価された。これによりスギ属が木杭として利用できる可能性が、ピロディン試験だけでなく圧縮強度の結果からも示された。

表-10.3.2 調査結果一覧

項目	内 容															
	水越橋上流											幸橋付近		木田橋付近		
木杭No.	Asw Mk01	Asw Mk02	Asw Mk03	Asw Mk04	Asw Mk05	Asw Mk06	Asw Mk07	Asw Mk08	Asw Mk09	Asw Mk10	Asw Mk11	Asw Mk12	Asw Sw01	Asw Sw02	Asw Kd01	
用途（構造物名称）	橋脚基礎			護岸基礎									橋脚（旧P7）基礎		橋脚（旧銭とり橋）基礎	
施工時期	1958(昭和33)年と推定			1958(昭和33)年と推定									1932(昭和7)年		1928(昭和3)年	
調査（採取）時期	2006年			2006年									2006年		2006年	
設置期間	48年と推測			48年と推測									74年		78年	
年輪数*	114	150	116	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37	33	43	
樹種鑑定	実施	実施	—	—	実施	—	—	実施	—	—	—	—	実施	実施	実施	
樹 種	カラマツ属（樹種鑑定非実施のものも同種と推定）											マツ属	スギ属			
丸太寸法	全長(m) (うち地中部(m)**)	4.8 (3.7)	4.9 (3.6)	4.9 (3.9)	2.1 (不明)	1.5 (不明)	1.3 (不明)	1.2 (不明)	1.1 (不明)	1.1 (不明)	1.1 (不明)	1.1 (不明)	0.9 (不明)	2.7 (不明)	2.2 (不明)	3.5 (2.4)
末口直径(m)	0.31	0.27	0.31	0.11	0.11	0.11	0.13	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.17	0.17	0.30	
元口直径(m)	0.32	0.28	0.31	0.12	0.12	0.12	0.14	0.12	0.11	0.11	0.12	0.13	0.18	0.18	測定不能(欠損)	
地盤との関係	砂層			砂層									礫質土、杭先端部は礫混じり砂層		多くは粘性土、杭先端部は砂質シルト層	
地下水位位置	杭頭部は地盤より突出一部河川水位より上に出る			杭頭部は地盤より突出一部河川水位より上に出る									地盤表面より上に河川水位		杭頭より上に河川水位	
水の種別	淡水			淡水									淡水		淡水	
その他													先端に金属製キャップが付属。			

\*：複数の計測結果の平均値。 \*\*：地中部の長さは土砂付着状況や流水による侵食痕などにより推定。



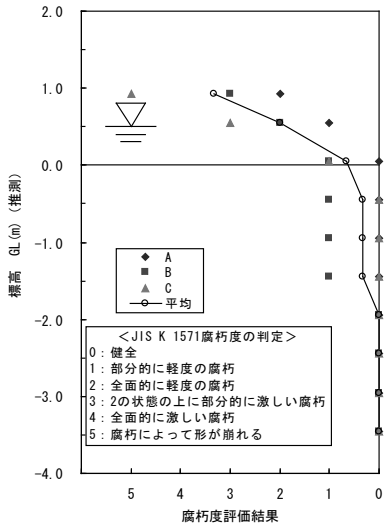


図-10.3.3 腐朽度評価結果  
(AswMk01:水越橋上流地点, カラマツ属)

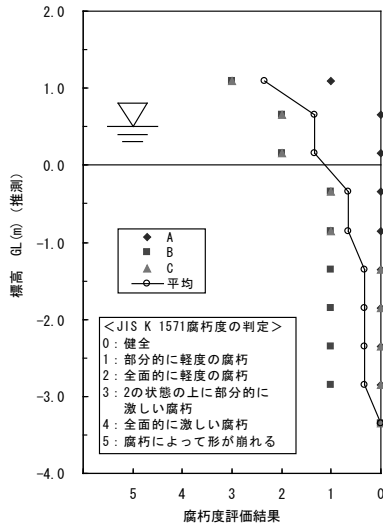


図-10.3.4 腐朽度評価結果  
(AswMk02:水越橋上流地点, カラマツ属)

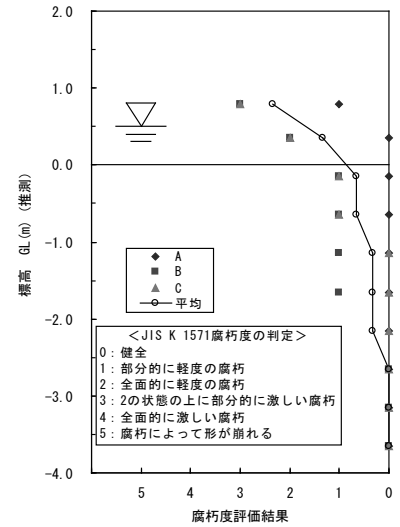


図-10.3.5 腐朽度評価結果  
(AswMk03:水越橋上流地点, カラマツ属)

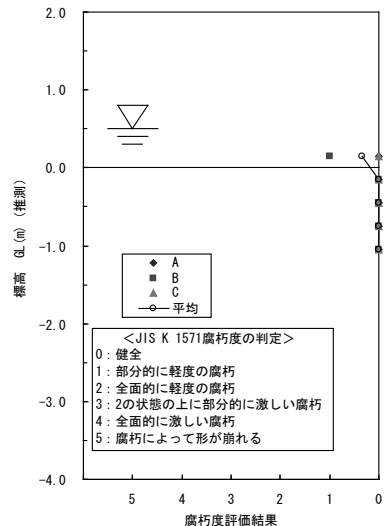


図-10.3.6 腐朽度評価結果  
(AswMk05:水越橋上流地点, カラマツ属)

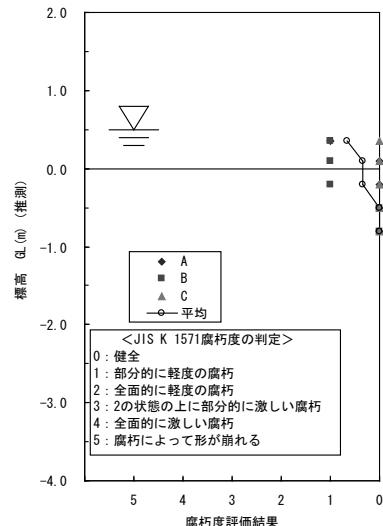


図-10.3.7 腐朽度評価結果  
(AswMk06:水越橋上流地点, カラマツ属)

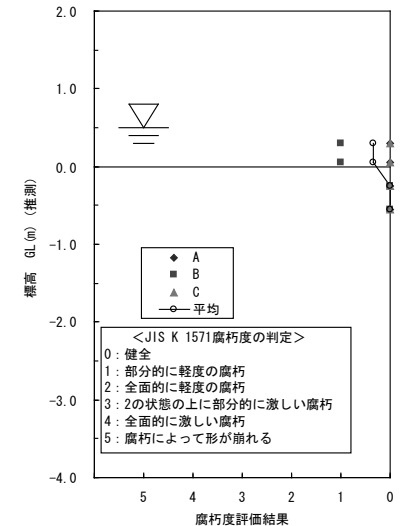


図-10.3.8 腐朽度評価結果  
(AswMk08:水越橋上流地点, カラマツ属)

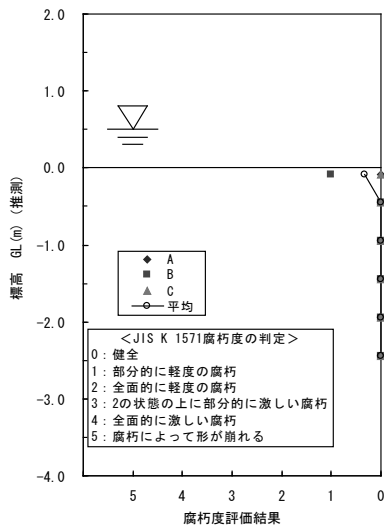


図-10.3.9 腐朽度評価結果  
(AswSw01:幸福地点, マツ属)

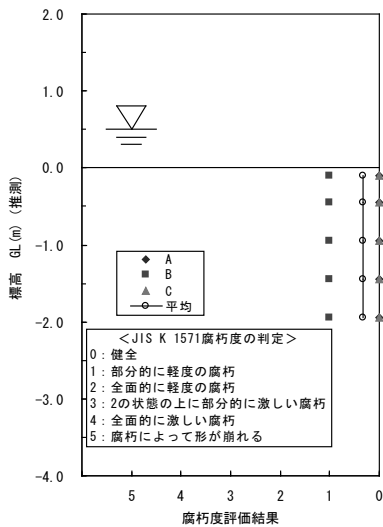


図-10.3.10 腐朽度評価結果  
(AswSw02:幸福地点, マツ属)

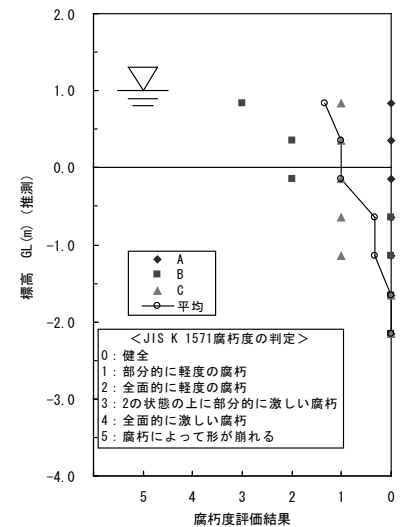


図-10.3.11 腐朽度評価結果  
(AswKd01:木田橋地点, スギ属)

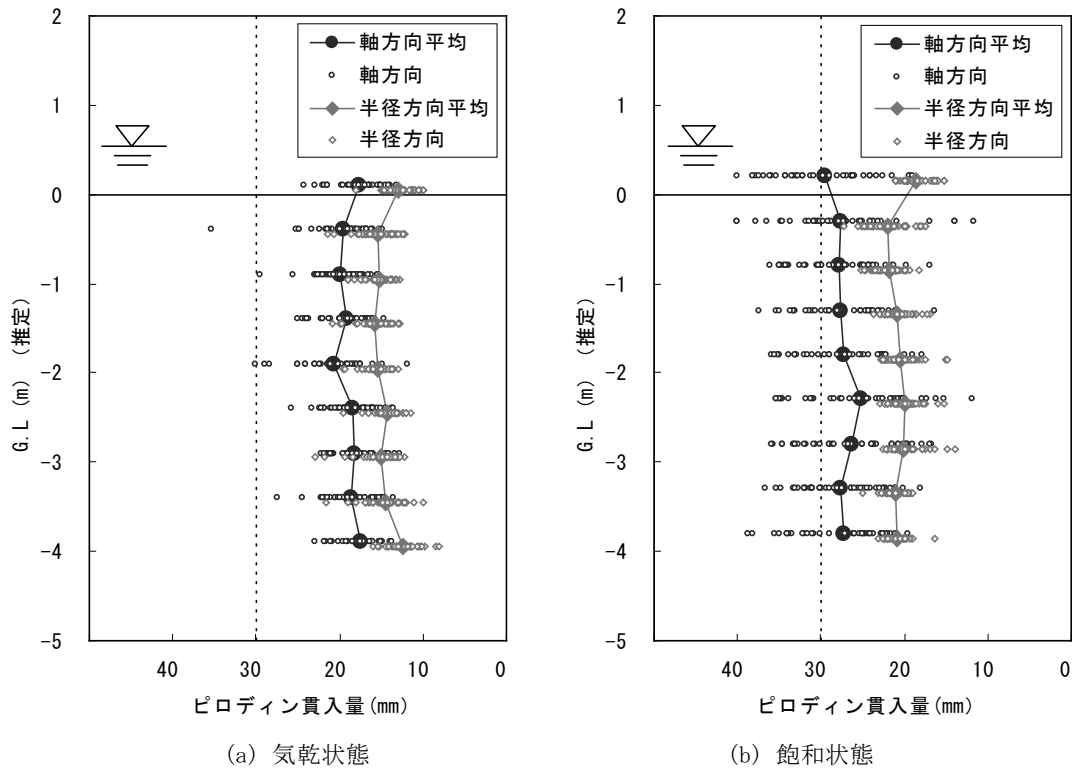


図-10.3.12 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk01:水越橋上流地点, カラマツ属)

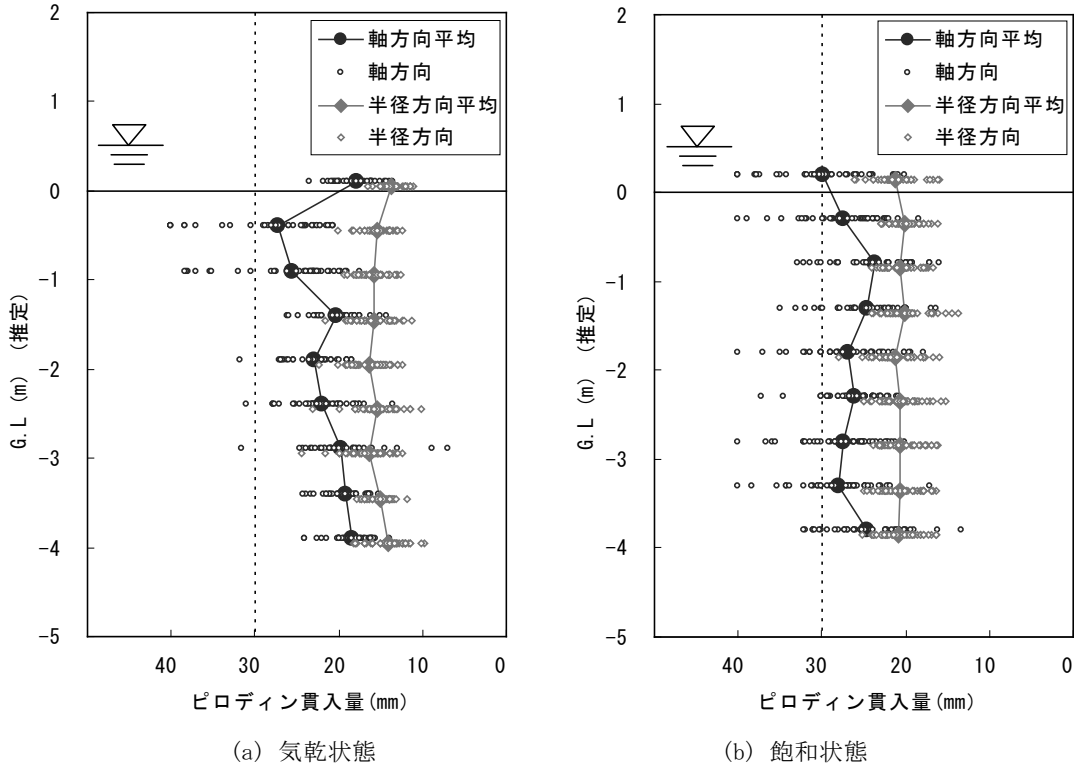


図-10.3.13 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk02:水越橋上流地点, カラマツ属)

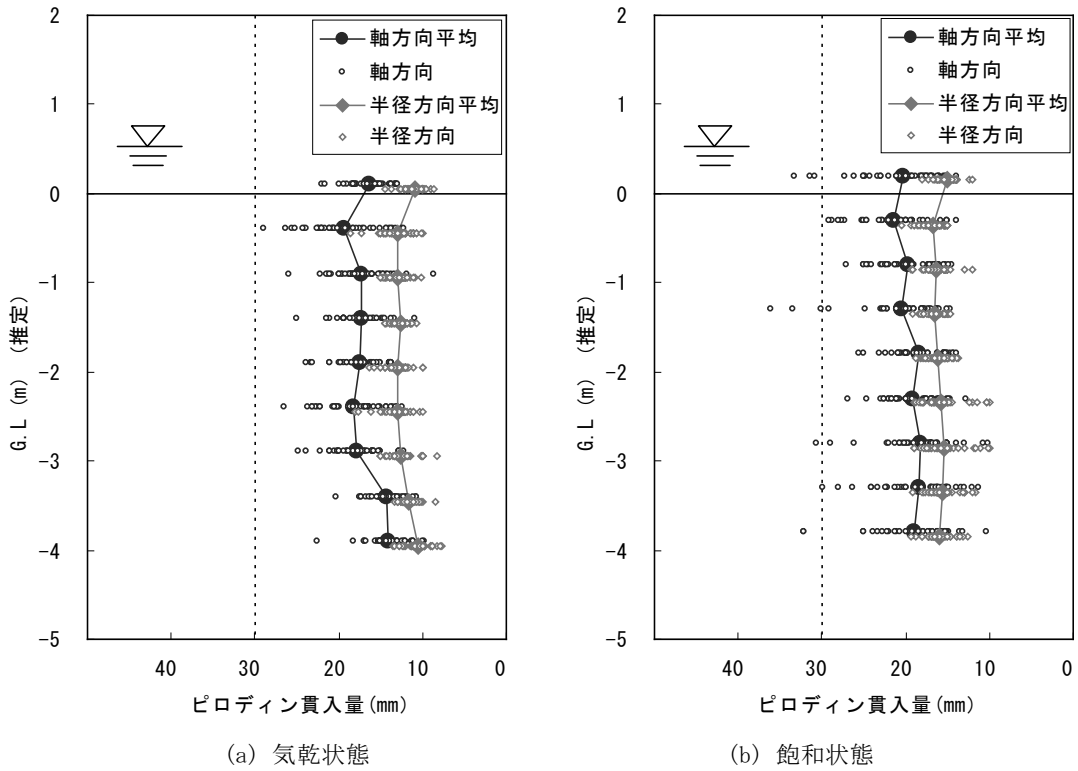


図-10.3.14 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk03:水越橋上流地点, カラマツ属)

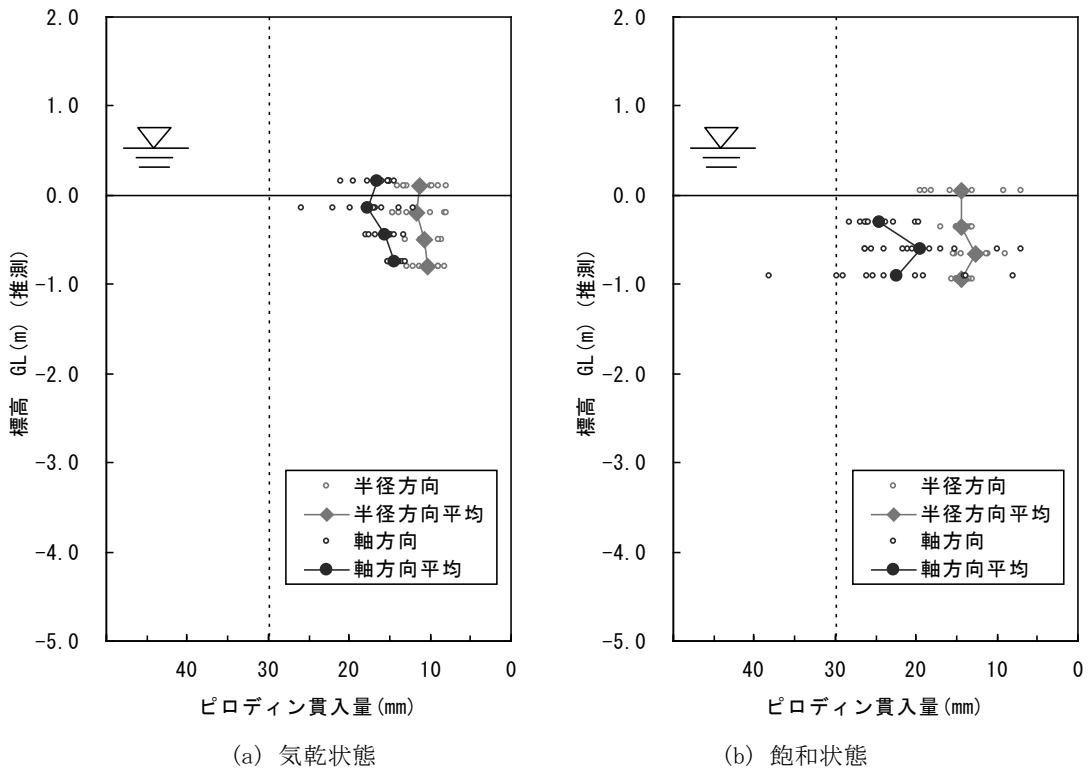


図-10.3.15 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk05:水越橋上流地点, カラマツ属)

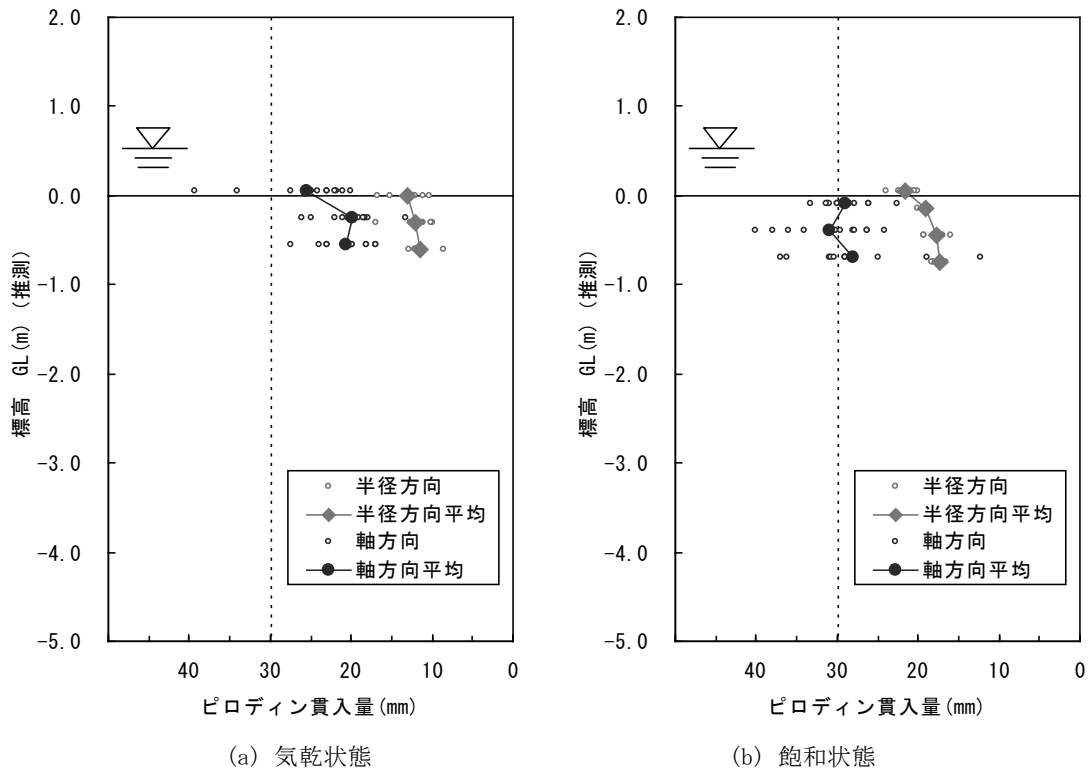


図-10.3.16 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk06:水越橋上流地点, カラマツ属)

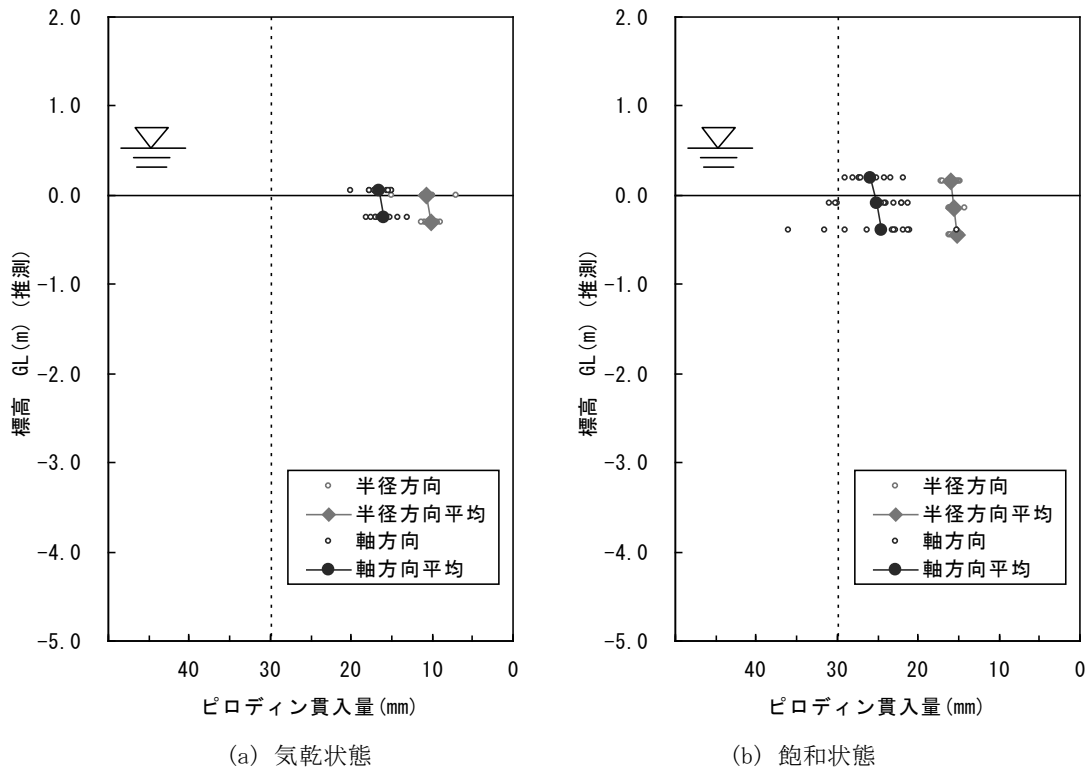


図-10.3.17 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswMk08:水越橋上流地点, カラマツ属)

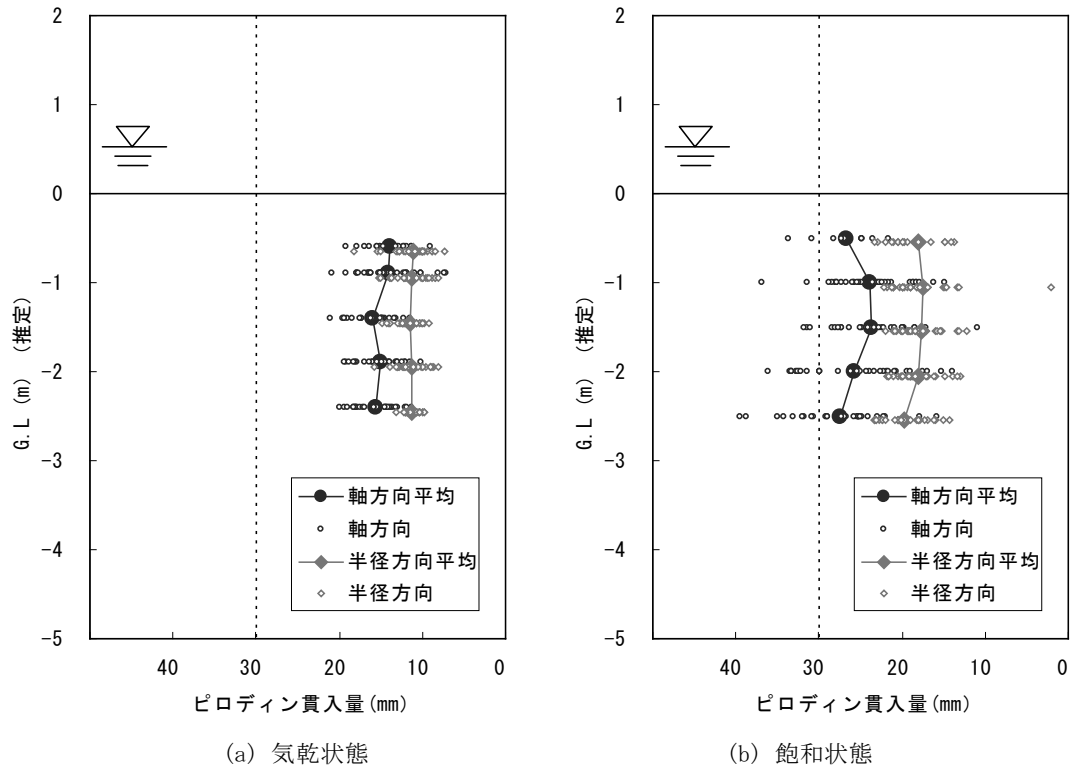


図-10.3.18 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswSw01:幸橋地点, マツ属)

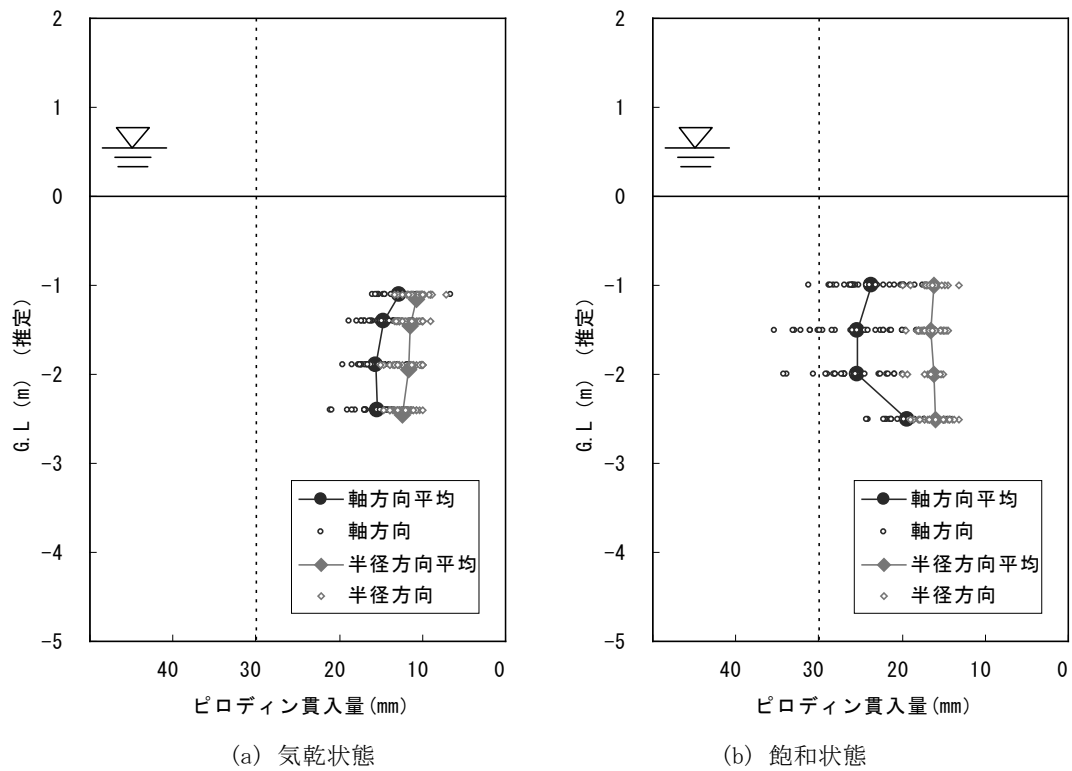


図-10.3.19 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswSw02:幸橋地点, マツ属)



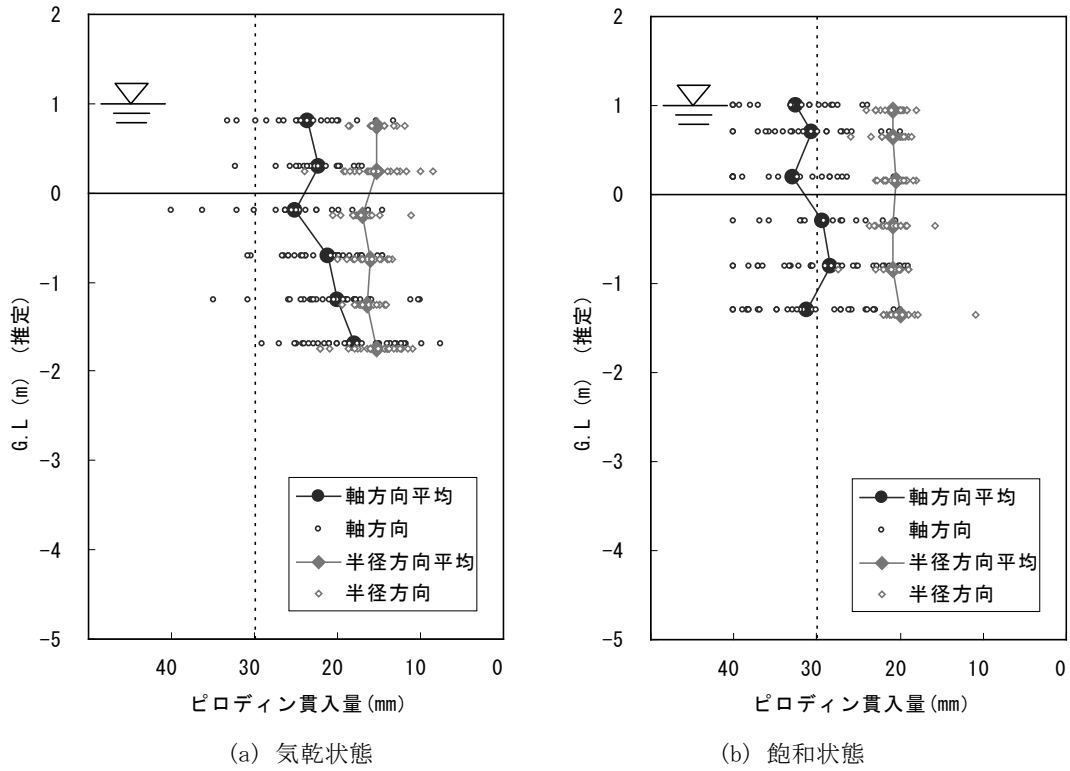


図-10.3.20 ピロディン試験の深さ別貫入量 (AswKd01:木田橋地点, スギ属)

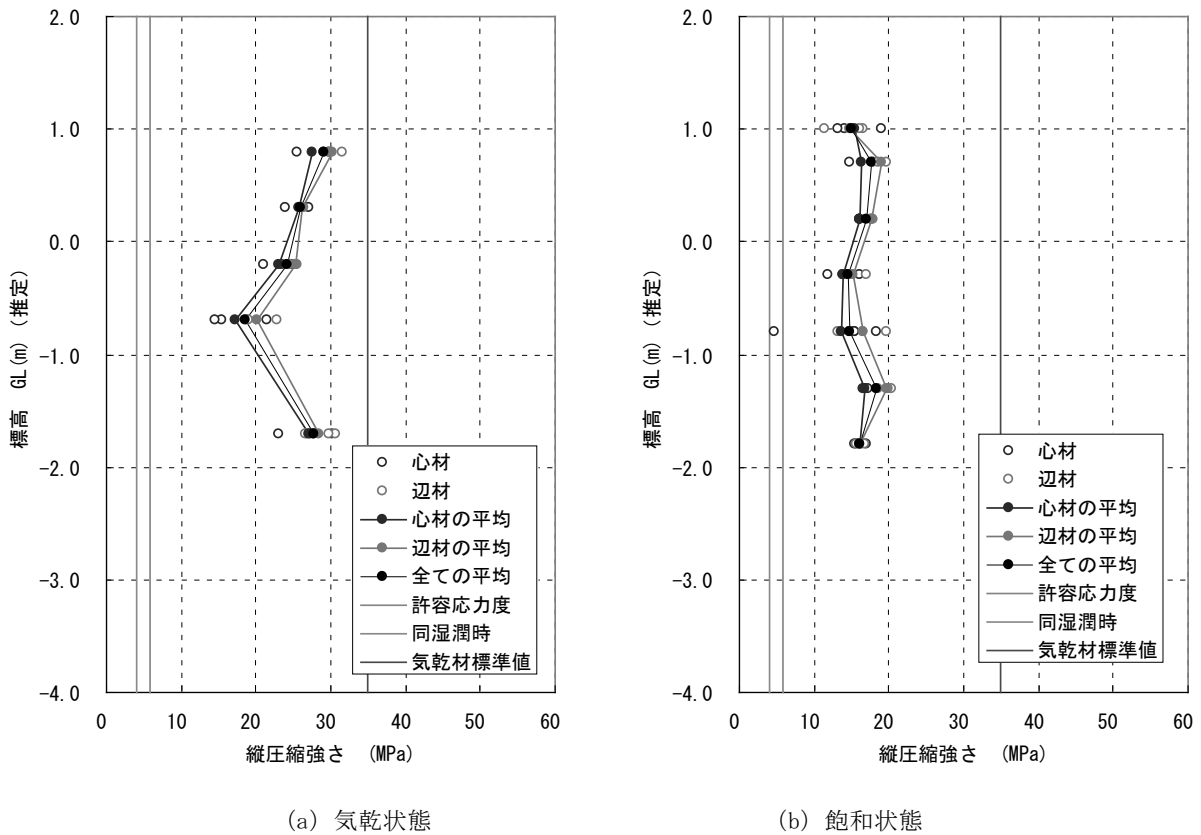


図-10.3.21 深度ごとの縦圧縮強さ (採取地：木田橋付近, 樹種：スギ属)

(図中の「辺材」は木材の外周側から切り出した試験体(先述の試験体位置記号が「OUT」で表されるもの)を意味しており、木材構造上の辺材ではない部分も含む。)

### 10.3.4 まとめ

- (1) 足羽川の3地点より旧橋梁や護岸基礎と考えられる木杭は、48年～78年経過したものであり、その樹種は、マツ科カラマツ属、マツ属とスギ科スギ属であった。
- (2) 採取された木杭は、目視観察した限りでは、河床より突出した部分では若干の損傷が確認されたものの、地中に埋まっていた部分に関しては極めて健全な状態であった。
- (3) ピロディン貫入試験によって、各木杭が基本的に腐朽していないということが定量的に評価された。特に木田橋で採取されたスギ属（スギ）については、約60年間地中で埋まっていたものであるが、縦圧縮強さについても健全性を保っていたと評価された。このことからスギの間伐材を木杭として利用できる可能性が示されたといえる。
- (4) 採取された木杭を基礎とした旧幸橋および地震時における橋の使用は不明であるが木田橋の前にあった銭とり橋の基礎は、1948年福井地震にも耐えており、耐震性についても木杭は決して低いものではないといえる。

### 10.4 既存の木杭基礎構造物の紹介<sup>3)</sup>

福井県内には、鯖江市の下司橋と鯖江大橋、小浜市の西津橋の3橋梁において橋台および橋脚に松杭基礎が使用されていたことが明らかとなっている。) これらの橋梁の完成年度は、それぞれ1957年（昭和32年）、1957年（昭和32年）、1938年（昭和13年）であり、2012年の今日も使用されていることから、それぞれ55年～74年経過後も松杭が健全な状態で機能維持を果たしていることがわかる。

#### 【解説】

#### 10.4.1 下司橋

表-10.4.1 下司橋の緒元

橋名	下司橋	完成年度	S32年	適用示方書	S31年
架橋位置	鯖江市下司町		路線名	一般県道 福井鯖江線	
道路規格	3種1級		橋梁下の状況	吉野瀬川	
橋長	44.90m	有効幅員	9.30m	設計荷重	TL-20
支間割	13.35+17.30+13.35m				
上部工型式	3径間 RC ゲルバー桁橋				
橋台形式	A1	重力式橋台【松杭基礎】	A2	重力式橋台【松杭基礎】	
橋脚形式	壁式小判型橋脚×2基【ケーソン基礎×2基】				



写真-10.4.1 下司橋の現況写真

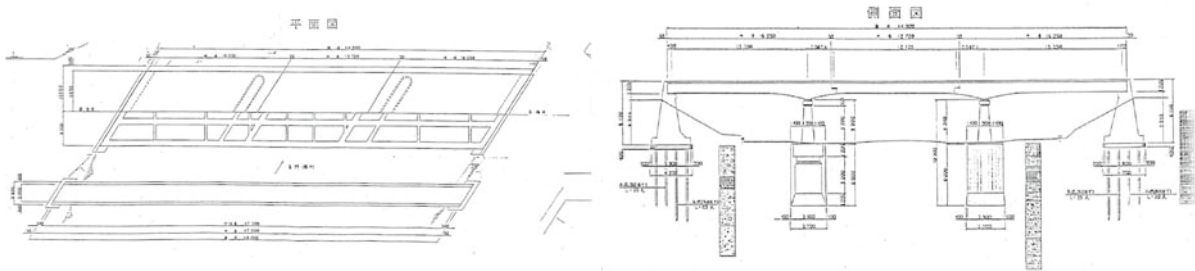


図-10.4.1 下司橋の平面図と側面図

10.4.2 鯖江大橋

表-10.4.2 鯖江大橋の緒元

橋名	鯖江大橋	完成年度	S32年	適用示方書	S31年
架橋位置	鯖江市有定町～下司町		路線名	一般県道 福井鯖江線	
道路規格	3種1級		橋梁下の状況	日野川	
橋長	174.00m	有効幅員	9.00m	設計荷重	TL-20
支間割	28.00×6m				
上部工型式	PC単純ポストテンションT桁橋6連				
橋台形式	A1	重力式橋台【松杭基礎】	A2	重力式橋台【松杭基礎】	
橋脚形式	壁式小判型橋脚×5基【ケーソン基礎×5基】				



写真-10.4.2 鯖江大橋の現況写真

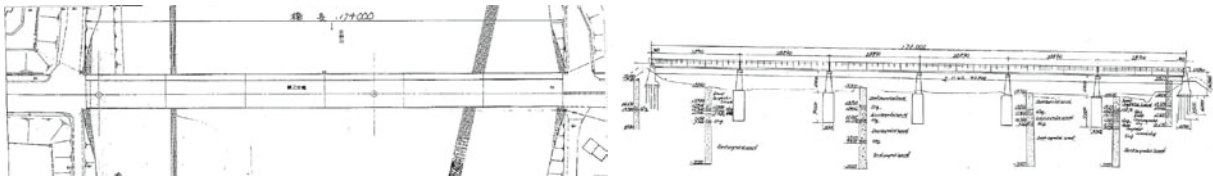


図-10.4.2 鯖江大橋の平面図と側面図

### 10.4.3 西津橋

表-10.4.3 西津橋の緒元表 西津橋の緒元

橋名	西津橋	完成年度	S13 年	適用示方書	T15 年
架橋位置	小浜市城内		路線名	一般国道 162 号	
道路規格	3 種 4 級		橋梁下の状況	北川	
橋長	123.40m	有効幅員	6.00m	設計荷重	TL-6
支間割	20.00+18.15+22.04+22.00+22.04+18.15m				
上部工型式	5 径間 RC ゲルバー桁橋+PC 単純プレテンション T 桁橋				
橋台形式	A1	控え壁式橋台【松杭基礎】	A2	控え壁式橋台【松杭基礎】	
橋脚形式	ラーメン式橋脚×4 基【松杭基礎×4 基】，壁式小判型橋脚【松杭基礎】				



10.4 既存の木杭基礎構造物の紹介



写真-10.4.3 西津橋の現況写真

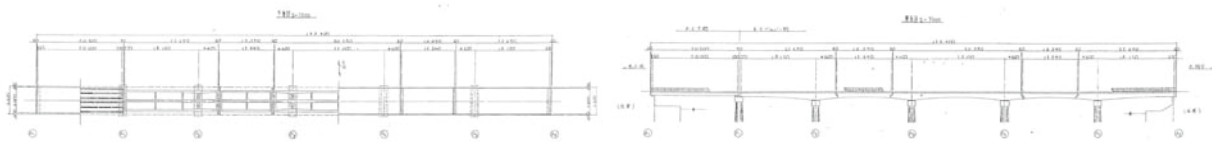


図-10.4.3 西津橋の平面図と側面図



10.5 パイルネット工法の詳細設計<sup>4)5)6)</sup>

福井県内で施工されたパイルネット工法の概要および設計方法について紹介する。

【解説】

10.5.1 工法の概要

パイルネット工法は、軟弱地盤に打設した杭の頭部を網目状に鉄筋などで連結し、その上方にジオテキスタイルを敷設することにより、盛土荷重を杭と地盤で支持させようとする工法である。杭は摩擦杭として用いられ、杭群と地盤が一体となって沈下するような構造となっている。杭は一般に木杭が使用され、群杭理論により、あらかじめ沈下量を予測して設計する。

10.5.2 設計方法

10.5.2.1 杭間隔の設計

杭間隔は、群杭効果が得られるように次式で求める（図-10.5.1）。

$$\ell = 1.5\sqrt{D \cdot D_f / 2} \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

ここに、

- ℓ : 杭間隔 (m)
- D : 杭直径 (m)
- D<sub>f</sub> : 地中の杭長さ (m)

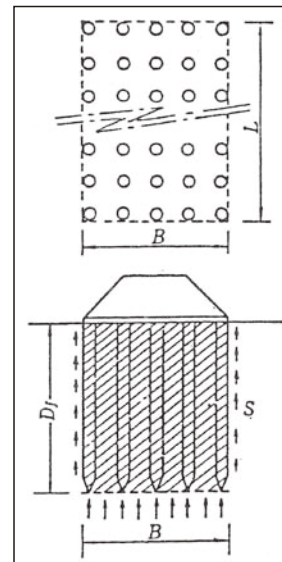


図-10.5.1

10.5.2.2 杭長さの設計

杭の極限支持力は、群杭として計算する。

$$\left. \begin{aligned} R_d &= \{A \cdot (q_d - \bar{P}) + U \cdot D_f \cdot S\} / n \\ \bar{P} &= \bar{\gamma} \cdot D_f + n \cdot W_p / A \end{aligned} \right\}$$

$$q_d = c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + \frac{1}{2} \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \quad (\text{帯状}) \dots\dots\dots (2) \text{式}$$

(Terzaghi公式、群杭公式)

ここに、

$R_d$ : 杭1本当たりの極限支持力 (tf/本)

$A$ : ブロックの底面積 (㎡)

$$= L \cdot B$$

$U$ : ブロックの周囲長さ (m)

$$= 2(L + b)$$

$D_f$ : 土中に埋まる杭長さ (m)

$S$ : 杭に接する土の平均せん断抵抗 (tf/㎡)

$n$ : 群杭中の杭本数

$W_p$ : 杭1本当たりの重量 (tf/本) (地下水面下にある場合は水中重量とする)

$q_d$ : ブロックの底面を基礎荷重とみなした  
時の極限支持力 (tf/㎡) [Terzaghi公式]

$D_f$ : 地中の杭長さ (m)

$c$ : 杭先端部の地盤の粘着力 (tf/㎡)

ただし、長尺な杭については、土中の杭長部の加重平均粘着力を採用することが望ましい。

$\gamma_1$ : 地盤から杭先端までの間の土の  
単位体積重量 (tf/m<sup>3</sup>)

$\gamma_2$ : 杭先端以下にある地盤の  
単位体積重量 (tf/m<sup>3</sup>)

$N_c$ 、 $N_q$ 、 $N_\gamma$ : 表-10.5.1に示す支持力係数

表-10.5.1

	$N_c$	$N_\gamma$	$N_q$
0°	5.3	0	1.0
5°	5.3	0	1.4
10°	5.3	0	1.9
15°	6.5	1.2	2.7
20°	7.9	2.0	3.9
25°	9.9	3.3	5.6
28°	11.4	4.4	7.1
32°	20.9	10.6	14.1
36°	42.2	30.5	31.6
40°	95.7	114.0	81.2
45°	172.3	325.8	173.3
50°	347.1	1073.4	414.7

次に、パイルネット工法の構造特性から

次の条件を整理する。

- ① この工法は、一般的に帯状であり、 $B < L$ の関係から、(2)式中の  $U \cdot D_f \cdot S/n$  の項を無視する。
- ② 木杭の場合は、 $n \cdot W_p/A$  の項を無視する。
- ③ 泥炭性地盤の場合は、土の内部摩擦角を  $\phi = 0$  とみなし、表-10.5.1より、 $N_c = 5.3$ 、 $N_\gamma = 0$ 、 $N_q = 1.0$  とする。
- ④ 杭底面地盤が一体となって働く有効断面積  $A/n$  を(1)式から、

$$\begin{aligned} A/n &= \pi \cdot \ell^2/4 \\ &= \pi \cdot (1.5 \sqrt{D \cdot D_f/2})^2/4 \\ &= 0.884 \cdot D \cdot D_f \end{aligned}$$

Ⓣ  $\bar{\gamma}$  と  $\gamma$  を同一とみなす。

上記条件①～Ⓣを(2)式に代入すると、(3)式となる。

$$R_d = 0.884 \cdot D \cdot D_f \{ (5.3 \cdot c + \gamma_1 \cdot D_f) - \gamma_1 \cdot D_f \} \\ = 4.68 \cdot D \cdot D_f \cdot C \quad \dots\dots\dots (3) \text{ 式}$$

一方、杭1本当たりの上載荷重は(4)式より求められる。

$$P_w = \ell^2 \cdot (\gamma \cdot h + W_s) \quad \dots\dots\dots (4) \text{ 式}$$

ここに、

$P_w$  : 杭1本当たりの上載荷重 (tf/本)

$h$  : 盛土の高さ (m)

$\gamma$  : 盛土材の単位体積重量 (tf/m<sup>3</sup>)

$W_s$  : 自動車等の荷重 (tf/m<sup>2</sup>)

したがって、杭の所要長さ(沈下を前提とした)は、(5)式を満足するように決定する。

$$R_d \geq F_N \cdot P_w \quad \dots\dots\dots (5) \text{ 式}$$

ここに、

$F_N$  : 杭沈下つり合係数 ( $F_N = 1.0 \sim 1.2$ ) を用いる。

以上に示した各式から  $R_d$ 、 $P_w$  を求め、 $R_d \geq (1.0 \sim 2.0) \cdot P_w$  であるかチェックする。

### 10.5.2.3 連結鉄筋の計算

連結鉄筋には、図-10.5.2のようにLamiの定理から  $T = P$  となるよう、あらかじめ  $\theta = 30^\circ$  のたわみ角をつけたものとする。

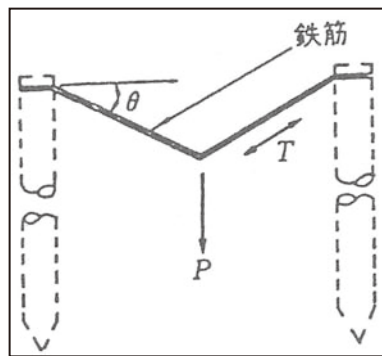


図-10.5.2

次に、鉄筋の許容応力は、(6)式により求められる。

$$S = \tau_L \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4000} \quad \dots\dots\dots (6) \text{ 式}$$

ここに、

$S$  : 許容応力 (tf)

$\tau_L$  : 許容応力度 1400kgf/cm<sup>2</sup>

$d$  : 鉄筋直径 (cm)

一方、鉄筋に作用する引張り力は、(7)式により求められる。

$$T = \frac{0.5 \times \ell^2 \times (\gamma \cdot h + W_s)}{2 \cdot m} \dots\dots\dots (7) \text{ 式}$$

ここに、

$T$  : 鉄筋1本当たりの引張り力 (tf)

$\ell$  : 杭間隔 (m)

$m$  : 鉄筋の組本数 (シングル $m=1$ 、ダブル $m=2$ )

#### 10.5.2.4 土木用シートの設計

$$T = \frac{f \cdot 0.5 \times \ell^2 \times (\gamma \times h + W_s)}{\ell'} \dots\dots\dots (8) \text{ 式}$$

ここに、

$\tau$  : シートの所要強度 (kgf/cm)

$\ell'$  : シートを支える鉄筋延長 (m)

$$\ell' = 2.28 \cdot \ell$$

$f$  : シートの安全率  $f=1.2$ とする。

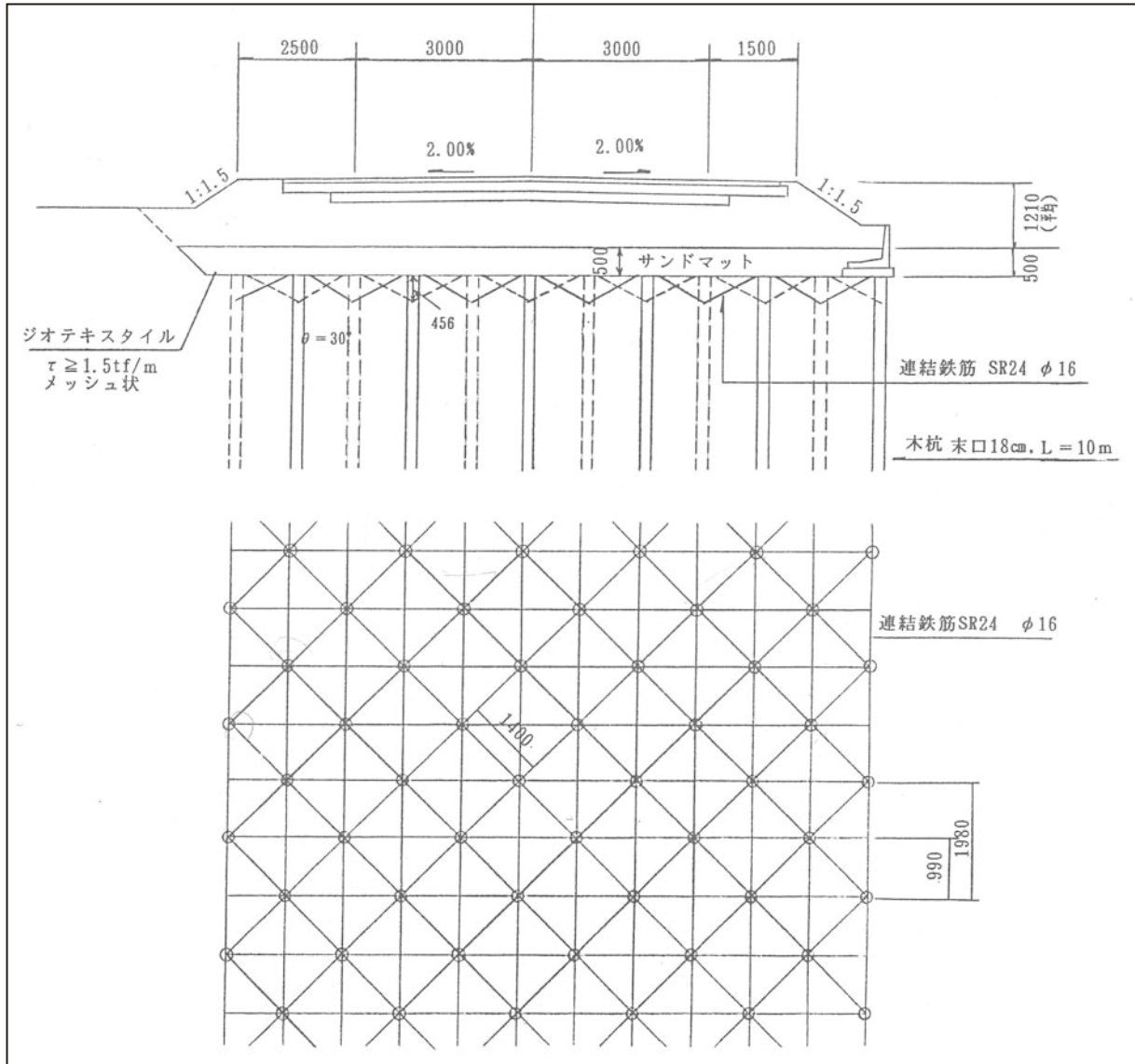


図-10.5.3 設計詳細図



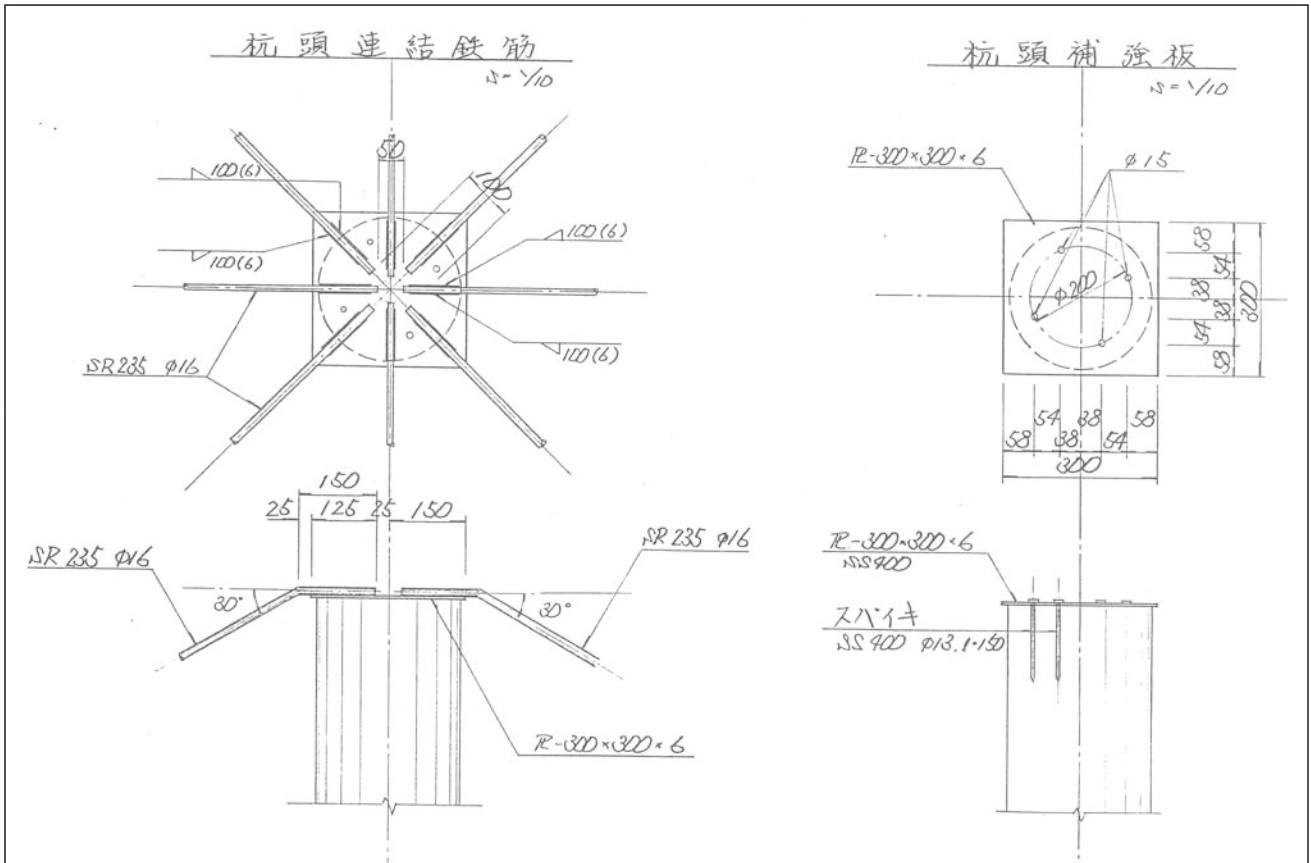


図-10.5.4 設計詳細図

参考文献

- 1) 本山 寛, 沼田淳紀, 吉田雅穂, 久保 光: スギ丸太打設による軟弱地盤対策実験, 地盤工学ジャーナル, vol.7, No.2, 409-420, 2011.
- 2) 佐賀県県土づくり本部・(財)佐賀県土木建築技術協会・(社)佐賀県県土づくりコンサルタント協会: プレキャストL型擁壁(H $\leq$ 2m)の木杭-底盤系基礎~設計マニュアル(第1版)~, 2008.
- 3) 脱地球温暖化社会へ向けた建設工事への木材利用に関する調査研究:(財)福井県建設技術公社, 2008.
- 4) 奈良 章, 工藤 昇: パイルネット工法による泥炭性超軟弱地盤の改良, 土木施工, Vol 23, No.6 pp.27~34, 1982
- 5) 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編, (社)日本道路協会, 2002.
- 6) 泥炭性軟弱地盤対策工指針編集委員会監修, 泥炭性軟弱地盤対策工 指針, (社)北海道開発技術センター, 1988.