

地中における丸太の軸圧縮強度に対する所見

飛島建設(株) 正会員 ○沼田淳紀
飛島建設(株) 正会員 村田拓海

1. はじめに

地球温暖化緩和策として有効な木材利用の促進は、喫緊の課題である。特に、日本は、現在極めて豊富な森林資源を有し、木材の利用促進は、地球温暖化緩和とともに将来の安定的な資源確保という意味でも重要である。土木分野では、近年木材をほとんど使わなくなってしまったが、最近このような状況下で、軟弱地盤対策として木材を使った技術が開発されつつある。しかしながら、かつて木杭が多用された時代から時を経た現代では、設計施工法に大きな隔たりがある。例えば木杭は、当時、細かな調査や設計はせず、現場で実際に丸太が打ち止まるまで打設していたようで、全数支持力確認を行っていたことになる。これは、自然材料を実際に扱う方法として決して現代においても劣らない理にかなった考え方である。

国内では1950年代以降、セメントや粗鋼の生産量が増え、これと逆行して木材の生産量は低下しはじめた。これに伴い、木杭は使用されなくなり、各基準からも姿を消していった。この間に杭は、人工材料であるコンクリート杭や鋼管杭に替わり、設計法もこれらを対象に急激に高度化され、自然材料である丸太はいつの間にか使いにくい材料となった。

木材を使うには、木材の特徴を十分に理解し、それを応用することが重要である。軟弱地盤で木材を使うことは、腐朽や蟻害などの生物劣化、燃えやすい、乾燥により変形しやすいといった木材の弱みを克服し、省エネで炭素貯蔵効果が大きく地球温暖化緩和に大きく貢献するという強みを応用している。現代版の設計法に地盤補強材料として木材を使用しようとする、その軸圧縮強度を取り入れざるを得ない。しかしながら、現在の設計法は、コンクリートや鋼材などの人工材料を主な対象にしており、自然材料である木材へそのままの考え方を適用することが適切であるとは限らない。

そこで、本稿では地中における丸太の軸圧縮強度について、所見を示したい。特に、歴史的実績があること、自然の力で樹木が淘汰されながら成長し、それなりの径に成長した幹から丸太が伐採され得られることを強調したい。なおここでは、製材加工した木材ではなく、皮を剥いただけの生材の丸太を地中の地下水位以深で用いることを対象とする。

2. 地盤補強の鉛直支持力に対する設計法

丸太打設による軟弱地盤の地盤補強に関する設計は、以下のように考えるのが一般的である。

地盤から求められる丸太の長期許容鉛直支持力 R_a と丸太の軸圧縮強度より求められる R_{a-Log} を比較し、小さい方を丸太の長期許容鉛直支持力とする。

R_a は、杭に用いられる支持力式を用い式(1)より求める。

$$R_a = \frac{R_p + R_f}{3} \quad (\text{kN}) \quad (1)$$

ここで、 R_p : 丸太先端部の地盤における極限先端支持力 (kN)

R_f : 丸太周囲の地盤による極限摩擦力 (kN)

R_{a-Log} は、国土交通省告示第1524号に示される木材の基準圧縮強度 F_c (kN) 用い、地下水位以深で用いるため0.7を乗じ、式(2)より求める。

$$R_{a-Log} = \frac{0.7 \times 1.1 F_c}{3} A_p \quad (\text{kN}) \quad (2)$$

ここで、 A_p : 丸太の断面積 (m²)

表-1に、代表的な樹種の基準圧縮強度を示す。ここで、各目視等級区分とは、JAS規格製材で節・丸

表-1 代表的な樹種の基準圧縮強度と許容応力度
(国土交通省告示第1524号)

	目視等級区分	基準圧縮強度	長期に生じる力に対する許容応力度	短期に生じる力に対する許容応力度	長期に生じる力に対する許容応力度(常時湿潤状態)	短期に生じる力に対する許容応力度(常時湿潤状態)
		F_c	$1.1F_c/3$	$2F_c/3$	$0.7 \times 1.1F_c/3$	$0.7 \times 2F_c/3$
		MN/m ²	MN/m ²	MN/m ²	MN/m ²	MN/m ²
ベイマツ	1級	27.0	9.9	18.0	6.9	12.6
	2級	18.0	6.6	12.0	4.6	8.4
	3級	13.8	5.1	9.2	3.5	6.4
	無等級	22.2	8.1	14.8	5.7	10.4
カラマツ	1級	23.4	8.6	15.6	6.0	10.9
	2級	20.4	7.5	13.6	5.2	9.5
	3級	18.6	6.8	12.4	4.8	8.7
	無等級	20.7	7.6	13.8	5.3	9.7
ヒノキ	1級	30.6	11.2	20.4	7.9	14.3
	2級	27.0	9.9	18.0	6.9	12.6
	3級	23.4	8.6	15.6	6.0	10.9
	無等級	20.7	7.6	13.8	5.3	9.7
スギ	1級	21.6	7.9	14.4	5.5	10.1
	2級	20.4	7.5	13.6	5.2	9.5
	3級	18.0	6.6	12.0	4.6	8.4
	無等級	17.7	6.5	11.8	4.5	8.3

※上記樹種では甲種(高い曲げ性能を必要とする材)乙種(圧縮性能を必要とする材)の差異はない

丸太、軟弱地盤、鉛直支持力、圧縮強度、自然素材、実績

飛島建設(株)技術研究所(〒千葉県野田市木間ヶ瀬5472, TEL 04-7198-7559, FAX 04-7198-7586)

味などの材の欠点を目視測定された区分であり、無等級材とは、JAS 規格製材以外の製材である。地中で用いられる丸太では、2 級が用いられる場合が多い。

3. 既往の設計法に自然素材である丸太を適用する場合の課題と方向性

(1) 基準強度

丸太は、自然材料であるので強度や形状にばらつきが多く、圧縮強度について現在の設計法を用いれば安全側を考えざるを得ない。しかし、過剰に安全側を考えればコスト高となり、利用されにくくなる。強度は、地中で利用される丸太においても JAS 材などの使用が求められることがあるが、丸太は一般的に JAS 規格のものは出回っておらず、製材を前提に求められた JAS 材をどのように丸太に適用するか検討の余地がある。

木材の基準圧縮強度は、製材について実施されたデータに基づき、下限から 5%の強度が用いられ、かなり余裕がみられている。製材の場合、節などの影響でそのばらつきは広がる可能性が大きい。一方、皮を剥いただけの丸太の軸圧縮強度は、断面全体で支えるので、部分的な品質の影響を受けにくく、下限側の発生頻度が製材で求めたものより減ることが想定される。したがって、基準強度は、製材から求めたものよりも大きくなると想定され、丸太に用いる軸圧縮強度は、基準強度を適用すれば安全側の設計となると考える。

(2) 丸太径の影響

丸太の軸圧縮強度は、丸太径の影響が大きい。一般に、設計には末口径の各径級の内の最小径が用いられる。末口径 0.14m のみを指定して 189 本発注した長さ 6m のスギの事例では、平均の末口径は指定した径よりも 0.033m 大きく、元口径は 0.103m 大きかった。これより断面積は、設計値よりそれぞれ 1.5 倍、3.0 倍大きい。特に、元口径の影響は大きく、設計時にこれを考慮すべきである。また、末口は、各径級の最小径を用いれば、十分な余裕代ができ、丸太の圧縮強度に基準強度を用いていても十分な余裕があることになる。

(3) 自然素材であること

そもそも、コンクリート杭や鋼管杭は、人工材料で人工的に作られるので、所定の支持力に耐えることの確認が必要である。一方、丸太は、樹木として何十年間自重を支え風雨に耐えてきた立木の幹から伐り出し、皮を剥きただけの状態の物である。したがって、丸太は、全数について樹木であったと同じ耐力があると考えるのが自然であり、強度の品質について信頼性が高いと言える。ただし、これに加工や乾燥などを加えたり、長期間放置すれば、樹木の状態とは異なっていくことが想定される。したがって、立木から伐り出されていること、寸法と形状、目視による被害度（例えば JIS K 1571）の確認を行うことで、基準強度を満足する丸太を得ることが可能であると考ええる。

(4) 被害事例が少ないこと

人工材料で作られた杭は、杭が地中で折れていた事例が多く報告されている。その大半が地震時によるものであり、杭頭部や地震によって生じた液状化層の上下端付近での損傷の事例が報告されている。一方、杭と言えば洋の東西を問わずかつては木杭であり、全世界で木杭の数は相当多いと考えられる。この中でも、軟弱地盤上の構造物では沈下傾斜を防ぐために木杭が多く用いられてきた。軟弱地盤の特徴は、地下水位が浅いことで、このような地下水位の浅い地盤に打設された丸太は生物劣化を生じず 100 年を優に超えて長期的に健全である。ただし、地表面や構造物直下に付近に位置する丸太頭部は生物劣化が生じる場合がある。これを除けば、地中で木杭が折れていたとか、地震時に杭頭部や液状化層の上下端で木杭が折れていたといった事例が見当たらない。むしろ、大きな地震で周囲が地盤の液状化により流動化したり被害が生じているのに、木杭で支えられて構造物が健全であった事例が報告されている。

地中における丸太の強みの一つは、その利用について、現在と変わらぬ品質のものが、コンクリートや鋼材に比べて、はるかに長い期間広い地域で使用されてきた実績があることで、そこで被害事例が見当たらないというのは、大いに強調すべきである。丸太だからと言って無暗に安全側を考えるのは、過剰な対応と考える。

5. まとめ

- (1) 地盤補強材料として用いる丸太の軸圧縮強度は、基準強度を用いても十分な余裕がある。
- (2) 丸太は、風雨に耐えてきた樹木から伐り出された物で、圧縮強度の品質について信頼性がある。
- (3) 立木から伐り出されていること、寸法と形状、目視による被害度の確認を行うことで、基準強度を満足する丸太を得ることが可能である。
- (4) 軟弱地盤の地中における丸太の損傷事例は見当たらず、このような使用法は他材料に比べ信頼性が高いと言える。

紙面の都合上、参考文献を割愛させていただいた。