

名護のひんぷんガジュマル倒木対策について

宮城敏明 牧野敏明

株式会社 沖縄建設技研（〒901-2126 沖縄県浦添市宮城三丁目7番5-103号）

キーワード：倒木対策、台風、風荷重、鋼構造、ひんぷんガジュマル

1. はじめに

沖縄県名護市の中心部には、「ひんぷんガジュマル」と呼ばれる巨木があり、長年にわたって市民に親しまれ、名護の街はこのガジュマルとともに成長してきた。ひんぷんガジュマルは樹齢300年とも言われる巨木であるが、平成14年の台風で南側に傾いた。ひんぷんガジュマルは県道84号線の中央、幸地川の縁に生えており、戦後の街路整備により周辺が舗装され、樹木の育成環境として好ましいとは言えない状況になったため、樹勢が弱くなったことが台風により傾いた一つの原因と考えられた。ひんぷんガジュマルは名護のシンボルであり、何らかの対策により倒木させないことが市民の要請となった。

ここでは、ラーメン構造によるひんぷんガジュマル倒木対策の概略について述べる。

2. ひんぷんガジュマルとは

1695年に名護間切番所が東江銭ヶ森のふもとから現名護博物館の位置に移るが、それ以降に詠まれたとされる琉歌「だんじゅ豊(とゆ)まれ(り)る名護(なぐ)の(ぬ)番所(ばんどうく)松(まち)とガジュマルの(ぬ)持(む)たえ(て)栄え(さけー)」は、松の樹にガジュマルが着生し共に栄えている様子、名護の風景を詠んでいる。松よりもガジュマルの生命力が強く、やがて松は枯死しガジュマルだけが現代に生き残ったと今日解されており、このことから、ひんぷんガジュマルの樹齢は300年以上と考えられている。1750年、具志頭親方蔡温は、当時議論されていた「屋部一古我知間の運河開削論」や「名護遷都論」を鎮圧するために三府龍脈碑を建てた。その石碑が「ひんぷん」のようであることから「ピンブンシー」と呼ばれ、いつしかその隣に生育するガジュマルもまた「ピンブンガジュマル」と呼ばれ人々に親しまれるようになった。

戦後、道路整備が行われ、幹の周囲ほどの大きさを残してガジュマルの周囲が舗装されたが、平成3年のあなだ橋工事で根鉢を拡大するなどの生育環境の改善対策がとられた。しかしながら、根鉢に十分な大きさが無く、十分な支柱根を形成できていない。名護市教育委員会文化課が平成21年度に実施した根系調査では、写真-2に示すように根が細く少ない状況で、根鉢内の下層に残る過去の路盤材などが根の成長を阻害している可能性もある。



写真-1 名護のひんぷんガジュマル



図-1 平面図

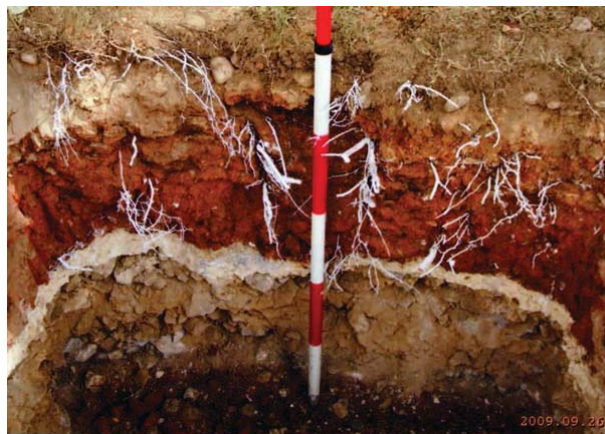


写真-2 名護市による根系調査

3. 懇話会による審議

ひんぷんガジュマルは市民の財産であり文化財でもあることを踏まえ、有識者による懇話会において、倒木対策に関して幅広い議論がなされた。懇話会での審議の結果、道路を切り回しガジュマルが根を下ろせる場所を確保するなどの抜本的な対策を行うことが将来的に必要とされた。一方、台風により倒木させないために、短期的対策として図-2 に示すような外観のラーメン構造による倒木対策が推奨案となった。

鋼管ラーメンによる倒木対策構造物を設けるにあたって、以下の様な提言がなされた。

- ① 1層のラーメン構造及び木支柱やワイヤー等による補助工法との併用とする。
- ② 県道 84 号線の交通障害とならないようにフレームの道路部建築限界高さ 4.5m以上を確保する。
- ③ ラーメン構造のフレーム高さは、ガジュマルの生育状況から $h=5.0\text{m}$ 程度とする。
- ④ 木支柱を併用することにより樹木の成長に配慮する。
- ⑤ 施工時に根系へ極力影響を与えない、また成長の障害とならない基礎形式とする。
- ⑥ フレームは塗装鋼材を用い、特に基部は防錆処理を行う。
- ⑦ フレームにはヘゴや竹等による巻き立てを行い、気根の成長や熱対策及び景観に配慮する。



図-2 倒木対策イメージ図

4. ガジュマルに作用する風荷重

(1) 名護市における風速の観測データ

台風による倒木を防ぐことが目的であることから、風荷重の設定は重要な課題となる。図-3 に、気象庁観測による名護市における過去の風速観測結果を示す。1974 年から観測記録が残されており、名護市における最大瞬間風速は、2002 年に観測された 57.9m/s である。

これらの観測値から求めた、名護における最大瞬間風速の再現期間および再現期待値を表-1 に示す。今回の倒木対策は暫定的なものという位置付けであり、20 年程度の供用期間を見込んでいることから、安全側に見積り、再現

期間 50 年の風速を見込み、 $U_{10}=55\text{m/s}$ を荷重の概算に用いる風速とした。

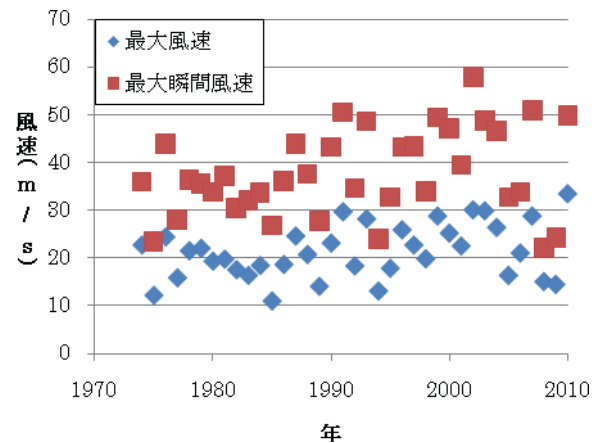


図-3 名護における風速観測値

表-1 最大瞬間風速再現期間と再現期待値

再現期間 T (年)	非超過確率 F	再現期待値 U_T (m/s)
10	0.9	44.9
20	0.95	49.5
40	0.975	54.1
50	0.98	55.5
100	0.99	60
200	0.995	64.4

(2) 風速の鉛直分布

土木分野で、流体の流速分布をモデル化する際に用いられることが多い式は、半理論式である対数分布則であるが、建築風工学の分野では、経験式であるが実際の風速分布により適合すると言われるべき法則が用いられる。

$$U_z = U_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha \quad (1)$$

ここに、 U_z : 高度 Z (m)における風速

U_0 : 高度 0(m)における風速

Z_0, Z : 高度 (m)

α : べき指数

分布を特徴づけるべき指数は、建築基準法施行令関連の告示に基づき、同施行令における区分Ⅱ郊外を想定して 0.15 とした。

前節の $U_{10}=55\text{m/s}$ に基づき、荷重算定に用いる風速分布は以下となる。

$$U_z = 55 \times \left(\frac{z}{10} \right)^{0.15} \quad (2)$$

ここに、 U_z : 高度 Z (m)における風速

Z : 高度 (m)

(3) 風荷重の算定

ガジュマルに作用する風荷重は、風速分布から流体力学公式により求められる。

$$WL = \int_0^h \frac{1}{2} Cd \cdot K \cdot \rho \cdot U_z^2 \cdot B_z dz \quad (3)$$

ここに、WL : 風荷重 (N)
 Cd : 抵抗係数 1.2
 K : 吹き抜けを考慮する係数、0.85
 ρ : 空気密度 1.2 (kg/m³)
 Uz : 高度 z (m)における風速 (m/s)
 Bz : 高度 z (m)における樹冠幅 (m²)
 Z : 高度 (m)
 h : ガジュマル樹高

ガジュマルの風荷重を算定するにあたっては、既往の調査結果を基に、樹高 17m、樹冠幅 20m および枝下高 3m とし、ガジュマルの形状を放物線で近似した形状とした。このとき、風荷重の重心は地表より約 9.2m の位置となる。

表-2 荷重と荷重重心

荷重総和	荷重重心位置
332 kN	地上から 9.2m

抵抗係数 1.2 は、板や壁の様な物体を想定するものであり、ガジュマルは樹木であることから、これに 0.85 を乗じている。樹木では、枝葉の間を風が通り抜けるだけでなく、風速の増大とともにしなりが増し、枝葉が大きくなびくことを考慮に入れたものであるが、詳細については後に述べる。

5. ガジュマルの支承について

台風の影響を受けるガジュマルは、力学的には、分布荷重が作用する片持ち梁と見なすことができる。分布荷重を荷重重心で支えることができれば、荷重総和と等しい支承部反力を想定すればよいことになるが、ガジュマルは梁の様な構造部材ではなく樹木であるため、支承を設ける位置は枝の広がりやを考慮して決定する必要がある。模式図を図-4 に示す。

表-3 に、支承を 5m および 7m の位置に設けた場合の、ガジュマルに作用する曲げモーメントおよび支承部反力を示す。支障が無い場合、ガジュマルの根部 (H=0m) には

表-3 支承位置とガジュマルに作用する曲げおよび支承部反力

位置	支承なし		支承高さ H=5m		支承高さ H=7m		支承高さ H=5, 7m	
	曲げモーメント (kN・m)	支承部反力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)	支承部反力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)	支承部反力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)	支承部反力 (kN)
H=7m	1001	-	1001	-	1001	-524	1001	-759
H=5m	1514	-	1514	-759	465	-	-2.76	439
H=0m	3137	332	-657	426	-534	192	23	-13.1

3137kN・m の曲げモーメントが作用するが、H=5m および 7m の位置に支承を設けることで 23kN・m まで小さくなり、根元から倒木する可能性はかなり小さくなると考えられる。

一方、幹中間部の曲げモーメントは、支承の位置において極大となるが、曲げモーメントの大

きさは支承の有無で変化しないため、支承位置あるいは支承より上方で幹が折れる可能性は、支承の有無にかかわらず大きくは変わらない。しかしながら、仮に支承よりも上方で幹が折れてしまっても、支承以下の部分は残ると考えられる。

H=0m における支承部反力は、ガジュマルの根部に加わるせん断力であり、支承を H=5m に設けた場合には 426kN となっており、支承なしの場合の 332kN よりも大きい。根部に加わる曲げモーメントは支承を設けることで小さくなるが、せん断力が大きくなる場合もあり、注意が必要となる。H=5m および 7m の支承部反力は補強構造物に加わる荷重となるが、支承位置が荷重重心とずれているために、いずれも風荷重の総和よりも大きくなっており、支持構造物の構造耐力の検討にあたって注意が必要となる。

6. 構造部材

構造解析に用いる支承部反力の設定については検討の余地があるが、部材の選定のために構造解析を行った。ガジュマルの枝が H=5m 程度の高さで水平方向に広がっており、これを避けて設置することになるため、ここでは、高さ 5m で一層のラーメン構造を想定している。

H=7m に支承を設けた場合、支承部反力は 524kN であるが、枝の 2/3 を固定すると仮定し、 $524 \times 2/3 \approx 345kN$ が支承となる構造を介してラーメン構造に伝達されること想定した。

解析結果のモーメント図を図-5 に示す。同図の手前右側の柱梁の接合部において最大曲げモーメント 270kN・m が

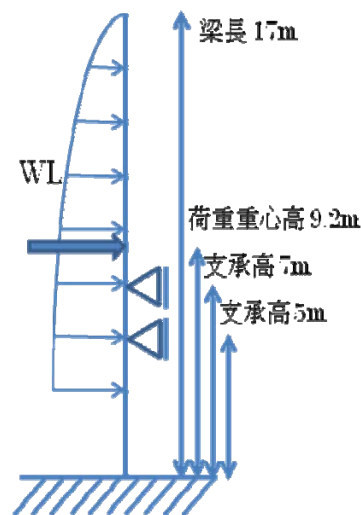


図-4 片持梁

生じており、柱には約 89kN の軸力が生じている。

部材の断面性能を考えると、一般的に部材断面幅が大きい部材が有利となるが、一方、景観への配慮からは出来るだけ目立たない構造部材、すなわちできるだけ細い部材が好ましい。この場合、仮に主部材として鋼管 STK490 を使用し、建築基準法の規定による許容応力度 325N/mm² から部材はφ318, t=17mm 程度の大きさが必要になる。

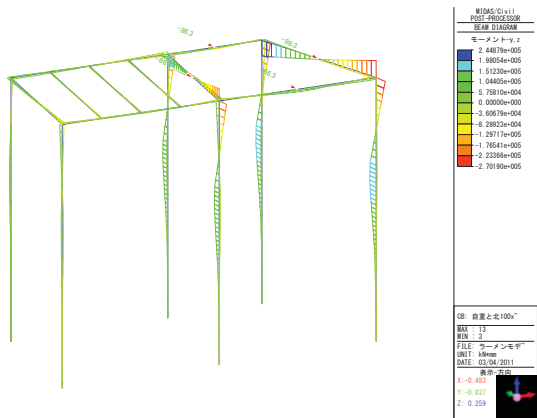


図-5 モーメント図

7. 設計上の課題

(1) 設計風速

設計風速として再現期間 50 年の最大瞬間風速 55m/s を想定したが、50 年間に風速がこの値を超えない確率は約 37%であり、供用期間を 20 年として 20 年間に越えない確率は約 67%である。想定外の大きな台風が来襲する可能性は常にあり、ひんぷんガジュマルはかけがえない存在であることから、万一の備えは必要と考えられる。

例えば、台風は強さや来襲時期が、ある程度の確度で予測できることから、想定以上の風速の恐れがある場合には、ワイヤーなどの補強材を追加で設置することにより、一時的に構造強度を増加させ対応することができる。構造補強の形状や方法は設計計算により求められるが、このような運用をする場合、どのような気象時に、誰が、どのようにして行うか、というような明確な管理上の計画を整備し、万一の際に現場で混乱が生じないようにしておくことが重要となる。

他には、部材の塑性域まで考慮した終局設計により、設計風速以上の台風時には、構造の塑性変形は許容するが倒壊倒木を避けることが考えられる。鋼材の終局強度は全塑性モーメントから求められるが、終局時の挙動を詳細に検討するには、鋼材だけでなくガジュマルの柔軟性、すなわち荷重-変位の関係を考慮に入れる必要がある。このため、現地観測等により、ひんぷんガジュマルの強風時挙動を把握することが重要となる。

(2) 風荷重の見積

歴史的には、樹木は防風林などを形成して災害から人々を守るという形で利用されてきた側面があり、樹木による

風の低減効果などについての知見は少なくないものの、逆に樹木そのものに加わる風荷重に関する知見は多くないようである。しかし、平成 16 年台風 18 号が北海道を直撃し、著名な北海道大学のポプラ並木が 4 割ほど根元から倒木したことをきっかけにして、樹木と風荷重に関する基礎的な検討がなされ、報告されている。

これによれば、樹木を直接風洞内に設置して実験したところ、特定の樹種（コニファー、針葉樹）では、風速が 5m/s から 15m/s に増大したときに、抵抗係数は 1.2 から 0.75 に減少するという結果が出ている。また、樹木同様に風が吹き抜けるラチス構造物の場合、日本建築学会荷重基準案・同解説の記載によれば、見付面積に対する充実率によって、0.85~1.0 程度の範囲を取っている。

樹木は、強い風を受けるほどしなやかに変形し、また、台風の様な強風時には葉もかなり散ることになり、弱風時と強風時では、抵抗係数が大きく異なることが想定される。ひんぷんガジュマルの倒木対策に際しての荷重算定は、さしあたってはラチス構造物に対する建築学会基準案を参考にし、安全側に見積もった抵抗係数から荷重を算定しているが、風速 55m/s あるいはそれ以上というような猛烈な強風時を想定する場合には誤差が大きくなるものと想像される。終局設計や、想定外の暴風への対策などを考える上では、強風に対する樹木の变形特性などをより詳しく見積もった上で、設計に反映させる必要がある。

8. 強風時の観測

将来的にはガジュマルが成長し大きくなることも想定されるが、設計時に将来的な変化を的確に予測することは不可能であり、倒木対策構造物の設置後に現地観測を行うことは意味がある。風やガジュマルの変位などを測定し、風荷重やガジュマルおよび倒木対策構造物の強度をより正確に把握することで、管理計画を整備あるいは更新する上で重要な知見となる。

9. おわりに

主に台風を想定したひんぷんガジュマルの倒木対策について検討した。このような場合、工学では、過去の記録から確率統計的に起こりうる台風を想定する。長期にわたる観測値から得られた再現期待値は意味のある数字であるが、確率統計的な数値は近未来に起こる事態を予測できるものではなく、想定外の事態も起こりうる。

二つとないひんぷんガジュマルを倒木させないためには、さまざまな可能性を視野に入れた上で、維持管理上の制度まで含めて検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 石川 均：樹木の流体力学特性の実験的解明，日本流体力学会 ながれ 24, pp.483-490, 2005.
- 2) 日本建築学会：建築物荷重基準案・同解説，1975