

公園遊具の安全性に関する研究

正会員 ○上場輝康*1

桑野恭一*2

2. 構造—99. その他

公園遊具, 安全性, 載荷実験, 剛性, 断面欠損

1. はじめに

近年、地方公共団体の財政悪化に伴い、公園遊具の保守点検がおろそかにされている。そのため、幼児や児童の遊具による事故が発生している。しかし、公園遊具については、載荷実験を行い、耐力の安全性を検討している研究例はない。さらに腐食が存在する構造体の載荷実験の例もない。

本研究では、公園の遊具を対象として載荷実験を行い、耐力と変形に関する資料を収集するとともに梁理論に基づく剛性計算値と比較して、遊具の安全性の指針を得ようとするものである。さらに腐食のすすんだ鉄棒を対象に載荷実験を行い、その挙動を調査する。

2. 実験概要

2.1 実験場所

近畿圏にある某市の2か所の児童公園の遊具について実験を行っている。それぞれを場所Aと場所Bとする。

2.2 実験遊具

場所A:	ブランコ	2台
	鉄棒1	1台
	すべり台	1台
	回転ジャングル	1台
場所B:	鉄棒2(腐食あり)	1台

ここでは、紙面の関係上ブランコと鉄棒についての結果を報告する。

2.3 実験方法

上記の遊具の3か所(ブランコ1は5か所)に変位計(500 μ /mm)を設置し、水平荷重を作用させ、それぞれの位置での水平変位 δ (mm)を測定する。各取り付け位置は以下の写真に示す。



写真1 ブランコ1



写真2 鉄棒1

3. 実験結果

実験結果から得た初期剛性 K_0 (kN/mm) および剛性計算値 K_c (kN/mm) を表1に示す。

図1はブランコ1の荷重点近傍(変位計③)の荷重-変形関係を示す。水平荷重の載荷は $P=2.0$ kNまで2回繰り返している。図中の実線は水平変位の実験値を、破線は水平変位の計算値を示している。図より、荷重-変形関係は弾性的な挙動を示している。このことから、ブランコ1の挙動が弾性的であることが分かる。

図2は鉄棒1の荷重点近傍(変位計①)の荷重-

変形関係を示す。水平荷重の荷重は $P=1.22\text{kN}$ まで行っている。図中の実線は水平変位の実験値を、破線は水平変位の計算値を、一点鎖線は実験値の初期剛性の傾きを表した直線で、点線は実験値の二次剛性の傾きの直線を示している。図より $P=0.30\text{kN}$ までは直線的な挙動 ($K_0=0.052\text{kN/mm}$) を示し、その後剛性は低下する ($K_1=0.021\text{kN/mm}$) が荷重と変形の関係は直線的である。これは荷重初期段階 ($P \leq 0.30\text{kN}$) では鉄棒の基礎周辺の土圧と摩擦により、基礎の回転が拘束されているので高い剛性を得るものであると考えられる。以後は摩擦がなくなり土圧により抵抗するため剛性は低下するが荷重と変形は直線的な関係となる。なお図より多少の剛性低下や残留変形があるものの、安定した挙動を示していると言える。

図1から図3は、水平荷重 $P(\text{kN})$ を縦軸に、水平変位 $\delta(\text{mm})$ を横軸にそれぞれ示す。図中の実線は水平変位の実験値を、破線は水平変位の計算値を、一点鎖線は実験値の初期剛性の傾きを表した直線で、図2中の点線は実験値の二次剛性の傾きの直線を示している。

図3は鉄棒2の荷重点近傍(変位計①)の荷重-変形関係を示す。図中の実線は水平変位の実験値を、破線は水平変位の計算値を、一点鎖線は実験値の初期剛性の傾きを表している。鉄棒2は柱脚部の腐食が進んでおり、荷重上昇がほとんど無く ($P=0.17\text{kN}$)、変形だけが進んでいき折損した。図2の保守良好の鉄棒1では $P=1.22\text{kN}$ まで加えて

も安定した挙動をしているのに対し、腐食の進んだ鉄棒では鉄棒1の1/7の低い荷重で不安定な挙動を示すことがわかる。

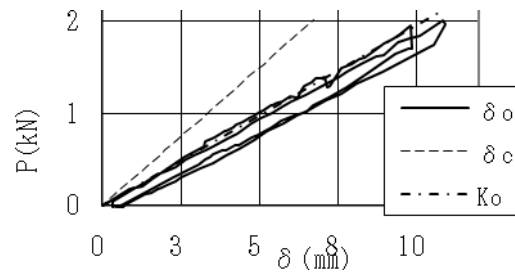


図1 ブランコ1 荷重-変形関係

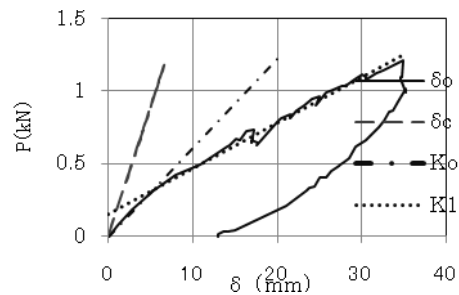


図2 鉄棒1 荷重-変形関係

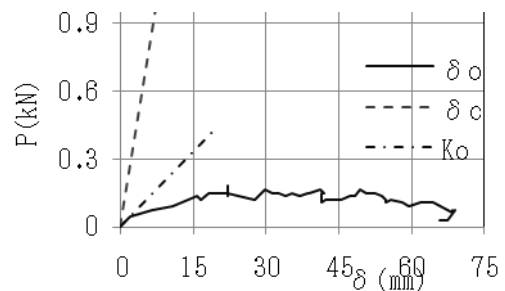


図3 鉄棒2 荷重-変形関係



写真3 鉄棒2



写真4 鉄棒2 腐食部分

表1 実験結果から得た初期剛性および剛性計算値

変位計	ブランコ1					鉄棒1			鉄棒2		
	①	②	③	④	⑤	①	②	③	①	②	③
Ko (kN/mm)	4.23	0.25	0.19	0.26	3.26	0.052	0.090	0.34	0.01	0.11	0.01
K1 (kN/mm)	-	-	-	-	-	0.021	0.028	0.085	-	-	-
Kc (kN/mm)	15.9	0.40	0.30	0.40	15.9	0.17	0.58	14.1	0.13	0.36	2.89
Ko/Kc	0.27	0.62	0.64	0.64	0.21	0.31	0.15	0.08	0.090	0.30	0.010

4. 考察

ここでは片持ち柱形式の遊具の回転剛性、断面欠損および断面欠落の影響について考察する。

4.1 鉄棒1(場所A)の回転剛性 θ_s

鉄棒の支柱頂部に単位荷重 ($P=1.0$ kN) を加えると支柱は曲げ変形をうける。その模式図を図1に示す。その時の変形量は δ_0 であり、 δ_0 から計算値 δ_c を引いたものを $\delta_s (= \delta_0 - \delta_c)$ とする。水平方向の変位の実験値 δ_0 (図中○印) と計算値 δ_c (図中●印) の鉛直方向の分布を図2に示す。同図は縦軸に高さ h (mm)、横軸に水平変位を示したものである。実験値、計算値ともに h が大きくなるにつれ、 δ は大きくなる。また δ_c は δ_0 を過小評価する。鉛直方向の高さ h (mm) を縦軸に、 δ_s (mm) を横軸に表したものを●印と実線で図3に示す。この関係の近似線を図中破線で示す。この傾きの逆数が単位荷重当たりの鉄棒の支柱基礎部の回転を表す。これを回転剛性 $\theta_s = 1/45.1$ (rad.) とする。回転剛性 θ_s の影響により δ_0 と δ_c に大きな開きが生じることが分かる。鉄棒の支柱のような片持ち柱形式の遊具の剛性は基礎部の回転が影響を与える。本実験の鉄棒頂部では $\delta_s / \delta_0 = 87.8\%$ となる。

4.2 腐食による断面欠損や欠落の影響

1) 断面欠損が剛性に与える影響

ここでの断面欠損とは錆による板厚の減少である。腐食構造物のモデルを図4に示す。図中 α は全長に対する断面欠損部を除いた健全な部分の比率を、 β は断面欠損比を表す。また、健全な状態の剛性と、断面欠損が生じている状態の剛性がどのような関係を示すかを図5に示す。同図は縦軸に腐食のない構造物(片持ち柱)に対する腐食のある構造物の剛性の低下率を、横軸に断面の断面欠損率 βI を示したものである。同図では腐食により断面二次モーメント I が低下すると、剛性低

下率も大きくなり、その割合は放物線的になる。

断面欠損のある部材 ($\alpha=0.95$) の剛性低下率が10%の場合、断面欠損率は47%となり、 I は1/2程度である。このとき、 $\alpha=0.8$ とすると、剛性低下率は30%であることが分かる。断面欠損のある腐食部分の長さが全長の20%程度であることは実際の公園遊具では想定しにくく、実際には5~10%程度である。したがって腐食による断面欠損は剛性の低下に大きな影響を与えないといえる。

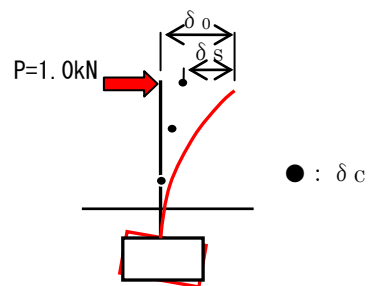


図1 鉄棒支柱頂部への水平荷重模式図

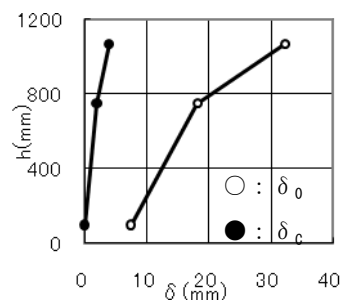


図2 δ_0 と δ_c の比較

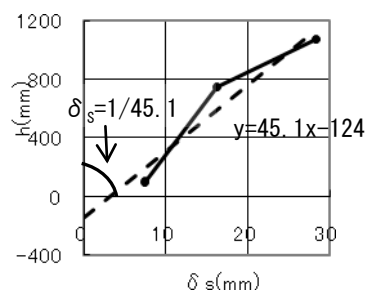


図3 $h - \delta_s$ 関係

2) 断面欠落が耐力に与える影響

ここでの断面欠落とは錆が板厚方向に進展して貫通したものである。 P_{cy}/P_y (P_{cy} =断面の欠落を考慮した弾性限耐力、 P_y =健全な断面の弾性限耐力)を縦軸に、腐食による断面欠落の大きさを横軸に示したものを図6に示す。同図より断面欠落部の割合が多くなるほど、健全な状態のものとは比べた場合、曲線的に耐力が低下する。この鉄棒の欠落部は写真より $\theta = 294^\circ$ と判断した。実験値の $P_{cy}/P_y = 0.005$ を○印で示す。 $\theta = 294^\circ$ 時の計算値 $P_{cy}/P_y = 0.02$ となり、実験値と計算値の P_{cy}/P_y に4倍の開きがあるが、断面の欠落が5/6程度あれば、非常に小さな荷重で破壊する事が分かる。

一般的に大気中での暴露試験¹⁾による、最初の10年間の鉄の腐食スピードは臨海地帯：0.3～0.8mm/年、工業地帯：0.1～0.5mm/年、田園地帯：0.05～0.2mm/年、常温の清水中では0.1mm/年という結果がでていいる。このほかに悪条件が重なれば、当然腐食による断面欠損は早まる。臨海地帯で腐食スピードを0.8mm/年としたとき、鉄棒の支柱の板厚²⁾は4.5mmであるので、腐食が始まってから約5年7ヶ月で貫通することが分かる。つまり、公園遊具の保守点検は5年以内のペースで行う必要がある。

5. まとめ

公園遊具の載荷実験から、以下のことが明らかとなった。

- 1) 鉄棒のような片持ち柱形式の遊具の剛性は、基礎部の回転の影響を評価すると推定できる。
- 2) 錆による板厚の減少による断面欠損が剛性に与える影響は図5で評価できる。腐食による断面欠損は剛性の低下に大きな影響を与えない。
- 3) 錆の板厚方向への進展によりできる断面欠落が耐力に与える影響は図6で評価できる。本実験の $\theta = 294^\circ$ の場合、実験値と計算値に4倍の開きが見られるが、ともに小さな荷重で破壊する。

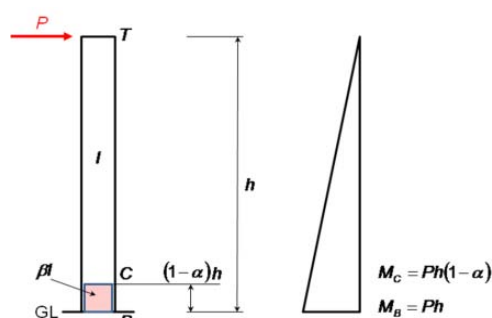


図4 腐食構造物のモデル化

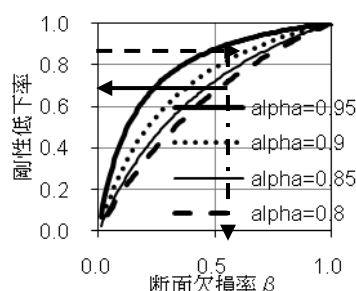


図5 断面剛性低下率と剛性低下率の関係

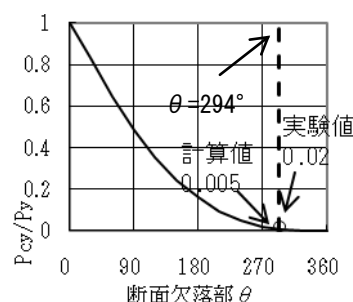


図6 P_{cy}/P_y と断面欠落部の大きさの比較



写真5 折損後の破壊断面

参考文献

- 1) 錆の発生と進行：http://homepage3.nifty.com/ikepi30/RZ350_thinkaboutRZproject_rust02.html
 - 2) 管材資料：<http://homepage1.nifty.com/shincoo/m181kanzai-vp.vu.html>
- 謝辞：本研究を卒業論文のテーマとした、山根克文君と内田陽子君に深く感謝いたします。

*1 大阪工業大学 教授・工博

*2(社)公園メンテナンス協会