

I-371 支点沈下による木構造物の3次元非線形解析

西安交通大学 学生員 方 東平
 岩手大学工学部 正 員 宮本 裕 岩崎正二 出戸秀明
 九州大学工学部 正 員 彦坂 照

1. まえがき

1370年から1378年にわたって造営が行なわれた中国の重要文化物に指定されている西安城壁の一部である北門箭楼は高さ12mの城壁の北門の上に位置し、長さ50.6m、幅10.52m、高さ18.14mである。この巨大な構造物の特徴は図1、2に示すように、縦12列、横3列に配置された直径0.55mの36本の柱を中心とし多くの梁や椽（たるき）など6000以上の部材からなり、部材と部材の接合部が枅（ほぞ）や斗拱（ときょう）で結びつけられている点である。

1983年8月から10月にわたって例年より二倍以上の降水量があった。排水施設が悪く城壁の中も穴が多いためこの箭楼の柱が載っている基盤（石）は大幅に沈下した。そのため柱も斜めに傾き部材の枅の移動が生じた。当時は柱が毎日1mmの速度で沈下していたため壁のクラックもだんだん大きくなり非常に危険な状態であった。そのため早急な修復が望まれ、実測が行なわれた。本論文では枅を非線形バネに仮定する支点沈下による構造解析を行ない実測結果と比較検討したものである。

2. 接合部のモデル化

本構造で使っている枅は図3のように四角形の直枅である。引張力が非常に小さく最大静止摩擦力までしか受けられない。木構造の枅を半剛性接合部と考え枅が移動する時軸力が軸方向の変位により非線形を

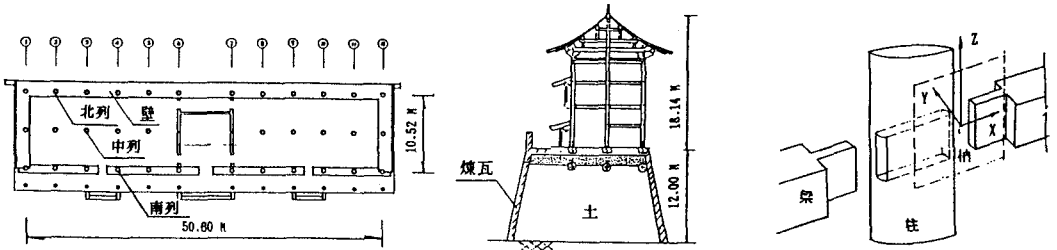


図1 平面図

図2 側面図

図3 枅と枅穴

もつことがわかっているので引張力が最大静止摩擦力 F_0 より大きくなった時、枅が移動し梁の軸力と枅と枅穴の相対変位との関係が非線形になる枅モデルを作った。図4はその枅の接合部の軸力と相対変位を折線で表わしたものである。また相対変位 ΔX が ΔX_0 より大きくなった場合に軸力が F_0 の状態をずっと保つような枅のモデル化は著者が文献1)でおこなっている。

以上の関係を式で表わせば次のようになる。

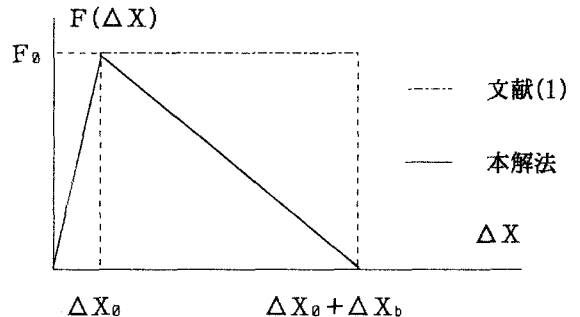


図4 枅の軸力-相対変位関係

$$F(\Delta X) = \begin{cases} K\Delta X & , \Delta X \leq \Delta X_0 \\ F_0 - F_0 \frac{\Delta X - \Delta X_0}{\Delta X_b} & , \Delta X_0 < \Delta X \leq \Delta X_0 + \Delta X_b \\ 0 & , \Delta X > \Delta X_0 + \Delta X_b \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 ΔX_b は枅の長さである。

3. 剛度変化による3次元非線形解析

計算モデル(図5)として構造物の西側の半分を取り上げ計算を行なった。壁の中に設置した柱と基盤(石)の連結を剛結にすることで壁の制限を受けるように考えた。前述のモデルを使って3次元非線形構造解析を行なった。図6は構造物の柱が沈下した後の全体図を表わしたものである。計算に際しては接合部をヒンジあるいは剛結とした場合の計算も行ない、杣モデルを用いた場合と比較検討した。

最後に実測結果を含めて表1のように整理して比較検討をおこなった。実測結果がある柱頂上の節点を取り上げて斜距と方位を表わした。接合部を杣モデルとした場合、南列の値は一部実測値と合うが3号柱と6号柱では実測値との差が結構大きくなった。また3号柱を含む平面ラーメンの接合部はヒンジとして解析を行なった。南列の計算結果が実測値と合った。その理由は3号柱を含む平面ラーメンの接合部は他の接合部より回転しやすいものと考えられる。6号柱の変位は実測値より小さく出ているがその傾向は同じである。また接合部をヒンジとした解析結果は、変位がほとんど小さくなり実測の結果と合わないことがわかった。接合部を剛結とした解析結果ではヒンジよりは大きな値を示したが、南列1、2号柱を除いては実測値と合わなかった。

4. 結論

以上の結果より杣を用いた中国古代木構造物の支点沈下解析の場合には、他の方法より杣モデルを使う方が実際の状態により近いものと思われる。

表1 結果の比較

柱号	分類	実測	ヒンジ	剛結	杣モデル	杣-ヒンジ	
南 列	①	斜距 m	0.345	0.089	0.304	0.315	0.340
		方位 °	176°19'	238°08'	182°24'	180°03'	180°00'
	②	斜距 m	0.233	0.048	0.259	0.303	0.190
		方位 °	204°21'	183°09'	186°21'	184°31'	193°40'
	③	斜距 m	0.084	0.031	0.176	0.304	0.113
		方位 °	222°05'	182°25'	183°27'	185°34'	218°50'
④	斜距 m	0.187	0.033	0.088	0.283	0.176	
	方位 °	206°17'	182°10'	212°15'	196°10'	212°20'	
中 列	⑤	斜距 m	0.137	0.006	0.086	0.232	0.210
		方位 °	207°18'	195°29'	223°38'	204°28'	209°03'
	⑥	斜距 m	0.479	0.011	0.082	0.152	0.223
		方位 °	188°38'	180°35'	238°16'	207°35'	203°31'
	②	斜距 m	0.526	0.045	0.243	0.234	0.052
		方位 °	194°25'	183°25'	181°20'	189°48'	231°30'
③	斜距 m	0.443	0.032	0.164	0.291	0.063	
	方位 °	183°19'	185°42'	182°40'	187°06'	215°25'	
④	斜距 m	0.258	0.034	0.076	0.281	0.189	
	方位 °	195°48'	189°53'	187°35'	186°12'	189°12'	
⑤	斜距 m	0.334	0.023	0.066	0.180	0.053	
	方位 °	208°54'	253°08'	203°09'	188°15'	197°32'	

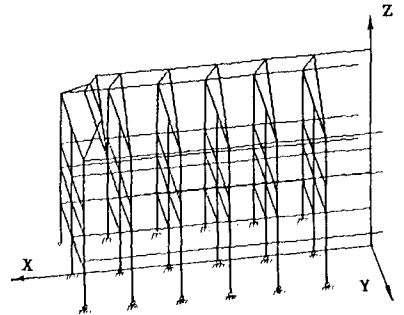


図5 計算モデル

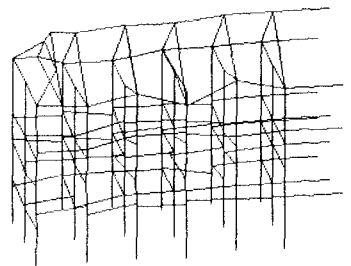


図6 沈下した後の全体図

参考文献

1. Yu Maohong, Fang Dongping and Lu Xiaodong: Settlement and Full Scale Dynamic Studies of An Ancient Wood Structure, Proceedings - CHSF 89', 1989.3, Singapore.
2. 編集委員会: 木材工業ハンドブック, 丸善株式会社, 1982.