

東山動植物園コンクリート製恐竜像の安全性評価に関する基礎的研究

名古屋大学 学生会員 ○阪本 早弥奈

名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 三浦 泰人

1. はじめに

東山動植物園には昭和13年に製作された3体のコンクリート製恐竜像が存在し、現在これらを保存・修復するための調査が行われている¹⁾。恐竜像は経年による材料劣化の影響や、ひび割れが多数存在していることから、地震動による破壊の危険が予想される。3体の恐竜像のうち、図-1に示すブロントザウルスは、その形状から地震時における首部分の破壊が懸念される。そこで本研究では、3次元有限要素法を用いて、ブロントザウルスの首部分の安全性評価を行った。

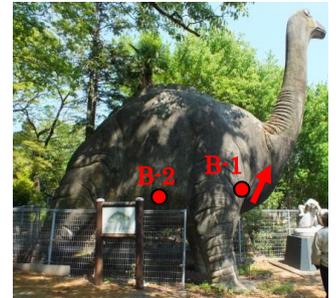


図-1 ブロントザウルス

2. 恐竜像の形状および材料調査

2.1 形状調査

ブロントザウルスの形状については、すでに3Dレーザースキャナによる外部形状調査が行われている。また、恐竜像は中空であることから、小径の穴を4箇所を開けて、コンクリートの厚さの測定と、内視鏡による内部形状調査²⁾も行われた。コンクリート外皮は金網モルタル造であり、上半身は空洞で下半身にはコンクリートが充填されていることが分かっている。恐竜像のモデル化には、外皮の厚さの分布が必要となる。そこで、RCレーダーを用いて外皮の厚さと充填コンクリートの高さの

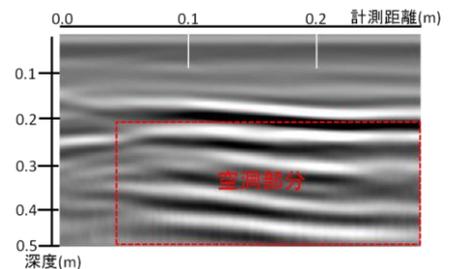


図-2 RCレーダーによる計測結果

面的な計測を行った。図-1中の矢印で示した部分におけるRCレーダーの計測結果を図-2に示す。これによると、深度200mm付近の黒い層より下部の、点線で囲った箇所が空洞であることを示しており、外皮の厚さはおよそ200mmであることが分かる。複数の位置の計測から、外皮の厚さは約180~250mmの範囲にあり、平均するとおよそ200mmであることが分かった。また、下半身のコンクリートは地表面から2600mmの高さまで充填されていることが分かった。

2.2 材料調査

図-1に示すB-1, B-2位置で採取された、高さ/直径比が異なる2体のφ50mm小径コアに対して圧縮試験を行った。圧縮試験から得られた圧縮強度、ヤング係数、ポアソン比を表-1に示す。圧縮強度の平均値は19.6 N/mm²であり、ある程度の強度を有しているが、ヤング係数は同強度の普通コンクリートに比べ低く、軽量コンクリートに近い値であることが分かった。また、密度試験を行ったが、密度は1.8 g/cm³程度であり、こちらも普通コンクリートよりも低く軽量コンクリートに近い値であることが分かった。

表-1 試験結果

	B-1(首の根元)	B-2(腹部)
高さ/強度	1.08	1.57
圧縮強度(N/mm ²)	20.6	18.5
ヤング係数(N/mm ²)		9.1 × 10 ³
ポアソン比		0.2

3. 解析モデル

3.1 解析手法およびモデル化

解析は、8節点アイソパラメトリック要素を用いた非線形3次元有限要素プログラムを用いた。図-3にブロントザウルスの全体像および首部分の有限要素モデルを示す。ブロントザウルスの首部分のモデル化は、外皮の厚さを200mmとし、要素寸法50×50×50mmの立方体でモデル化を行った。地表面から2600mm以下の部分はコンクリートで充填されてい

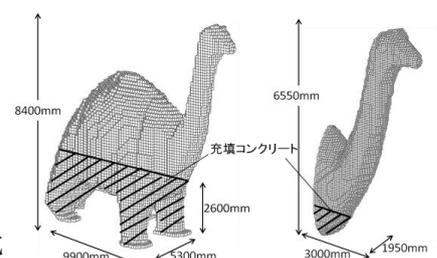


図-3 モデル図

るとしてモデル化した。なお、外皮は金網モルタルであるが、金網はモデル化せずモルタル材料として扱った。材料特性値は表-2の値とし、圧縮強度、ヤング係数、ポアソン比は実験で得られた値とした。引張強度、引張破壊エネルギーについては、ヤング係数、密度が軽量コンクリートの値に近かったことから、以下の普通コンクリートに対する算定式で得られた値の70%とした。

表-2 材料特性値

f'_c (N/mm ²)	f_t (N/mm ²)	G_F (N/m)	E (N/mm ²)	ν
19.6	1.17	32.3	9.1×10^3	0.2

$$f_t = 0.23f'_c{}^{2/3} \quad (1)$$

$$G_F = 10(d_{\max})^{1/3} \cdot f'_c{}^{1/3} \quad (2)$$

ここで f_t :引張強度(N/mm²), G_F :破壊エネルギー(N/m), d_{\max} :粗骨材の最大寸法(mm)であり、粗骨材の最大寸法は5mmとして計算をした。

3.3 荷重条件

地震時の慣性力を想定し、部位の質量と比例するように水平方向および鉛直方向に分布荷重を載荷し、その荷重比を保つように荷重を増加させていった。水平方向の載荷条件の図を図-4に示す。また、終局状態においても安定した解を得るため、制御点選択弧長法を用いて解析²⁾を行った。

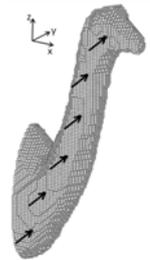


図-4 水平方向載荷

4. 解析結果

4.1 水平方向載荷

水平方向の載荷における荷重-変位関係、最大荷重時の変形図および最大荷重後の変位3.1mm時の引張ひずみコンター図をそれぞれ図-5, 6に示す。ここで、荷重は総荷重値を総質量と重力加速度で除した静的震度で表し、変位は図-6中の赤丸印の位置のものである。荷重-変位関係は、最大荷重までは線形的な挙動を示し、最大荷重後に急激に荷重が低下するといった挙動を示した。首の付根付近でひずみが局所化していることから、この部分で破壊が起きると予想される。

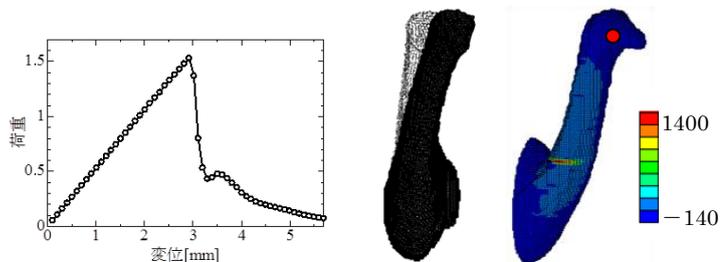


図-5 荷重-変位関係 図-6 変形図および引張ひずみコンター図

最大荷重は重力加速度の1.5倍であり、ある程度の地震時の安全性を有していると思われる。

4.2 鉛直方向載荷

鉛直方向の載荷における荷重-変位関係、最大荷重時の変形図および最大荷重後の変位1.9mm時の引張ひずみコンター図をそれぞれ図-7, 8に示す。荷重は水平方向載荷時と同様に静的震度とし、変位は図-8中の赤丸印の位置のものである。こちらも首の付根付近にひずみが集中していることから、この部分で破壊が起きると予想される。最大荷重は重力加速度の4倍であり、かなりの大きさの鉛直方向の慣性力にも耐えられることが示された。

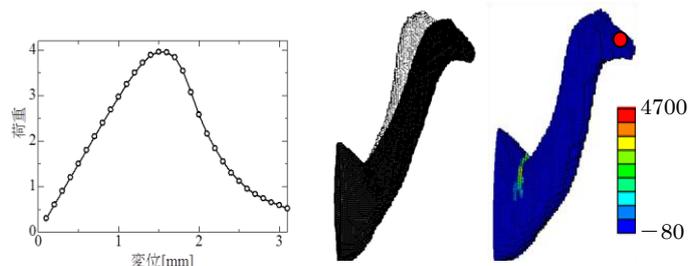


図-7 荷重-変位関係 図-8 変形図および引張ひずみコンター図

5. まとめ

恐竜像の調査によって、コンクリート外皮の厚さや、圧縮強度、ヤング係数、ポアソン比が分かった。またフロントザウルスの首部分における3次元有限要素法を用いた解析によって、自重の何倍の荷重に耐えうるかが示されたとともに、破壊が起きると考えられる部分を特定することができた。

参考文献

- 1) 中村真吾, 河辺伸二, 渡辺正雄: 東山動物園のコンクリート製恐竜像の内視鏡調査, 日本建築学会東海支部(投稿中)
- 2) 横山文彦: 平面格子の等価連続体化法に弧長法を用いたスナップバック挙動解析, 名古屋大学修士論文, 1999