

## 報告 東山動植物園のコンクリート製恐竜像の内部調査

河辺 伸二\*1・渡辺 正雄\*2・鈴木 好昭\*3

**要旨:** 名古屋市東山動植物園に、昭和13年に完成した3体のコンクリート製恐竜像が存在する。東山動植物園とともに歴史を歩んできた。76年間、補修等の手を加えられずに現在に至っている。外観の様々な部分にひび割れ等の劣化が目立ち、修復や補強が必要となり調査が開始された。そこで、本研究では恐竜像の内部に入り、修復が必要となる部分の構造と劣化程度の調査を行った。その結果、恐竜像内部の鉄骨・鉄筋の図面化を行い、鉄骨の劣化程度を明らかにした。また、3Dスキャンデータを用いて恐竜像の全体像と外皮厚さを測定した。さらに、内部の劣化状況を内視鏡を用いて調査し、腐食による鉄骨の途切れを確認した。

**キーワード:** 恐竜像, コンクリート, 3Dスキャン, 内視鏡

### 1. はじめに

東山動植物園には、写真-1~写真-3に示すブロントサウルス、イグアノドン、トリケラトプスの3体のコンクリート製恐竜像<sup>1-4)</sup>が存在する。開園から1年後の昭和13年に完成し、東山動植物園と共に現在まで76年の歴史を歩んできた。現状、ブロントサウルスの首やイグアノドンの腕等にひび割れ<sup>5,6)</sup>が入っている。地震動時の転倒の危険性を考慮し、イグアノドンの両腕は木製の松葉杖で支えられている状態である。このまま手を加えなければこれらの恐竜像を安全に存続させることは困難である。

それらの現状を踏まえ、昨年より保存と修復のためにブロントサウルスとイグアノドンの2体の恐竜像の本格的な調査を開始した。恐竜像の下半身は、鉄骨、鉄筋、コンクリートで構成され、上半身の外皮は鉄骨、鉄筋、金網、モルタルで構成されていることが分かった。

前報<sup>7)</sup>の研究では、外観目視調査と外部から内視鏡を入れてコンクリート製恐竜像の内部の劣化程度の調査を行った。その結果を用いて、恐竜像内部の鉄骨・鉄筋の図面化を行い、またモルタルの劣化程度を明らかにした。

その後、恐竜像の詳細な調査のためにブロントサウルスとイグアノドンの腹部に人の通れる開口を設けた。

本研究ではブロントサウルスとイグアノドンに設けた開口より恐竜像の内部に入り次の調査を行った。(1)3Dスキャンデータを測定し、恐竜像の全体像と外皮厚さを算出した。また、恐竜像内部壁面の鉄骨位置の調査を行った。(2)鉄筋探知機を用いて恐竜像内部の鉄筋位置とかぶり厚さを調査した。恐竜像内部の鉄骨と鉄筋の実測値から図面化を行い、当時の設計図と比較した。(3)補強が必要とされるブロントサウルスの首の内部、イグアノドンの腕の内部の劣化状況を内視鏡を用いて調査を行った。(4)恐竜像内部の全天球撮影を行った。



写真-1 ブロントサウルス



写真-2 イグアノドン



写真-3 トリケラトプス

\*1 名古屋工業大学 大学院 教授 工博 (正会員)

\*2 有限会社エムアンドティー, NPO 法人コンクリート技術支援機構

\*3 名古屋工業大学 建築・デザイン工学科

## 2. 恐竜像の3Dスキャンデータ

### 2.1 恐竜像の全体像

3Dレーザースキャナにより3Dスキャンデータの計測を行った。イグアノドン、プロントサウルスの3Dスキャンデータを図-1と図-2に示す。3Dスキャンデータはレーザーにより定点から任意の点までの距離を測定し、それらの点を集積することで対象物の形をとらえている。そのため表面にある凹凸なども鮮明に表すことができる。

恐竜像の外側から測定した外側部分と内側から測定した内側部分を組み合わせることで、図-1と図-2のように外側部分と内側部分を同時に見ることができ、空洞を有する恐竜像の全体像を得ることができる。

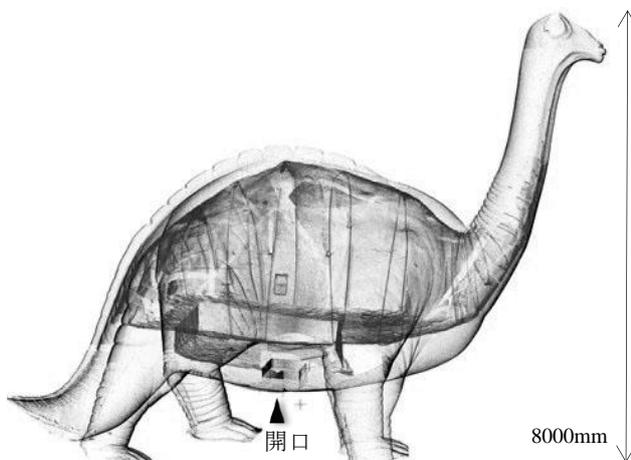


図-1 プロントサウルスの全体像

### 2.2 恐竜像の外皮厚さ

図-3と図-4に示すように500mmごとに、恐竜像の3Dスキャンデータの外側部分と内側部分を組み合わせてできる隙間の距離を測り、外皮厚さとする。外皮厚さを図-5と図-6に、具体的数値を表-1と表-2に示す。

プロントサウルスの腹番号⑦～⑩の部分の外皮厚さが周りの⑤⑥⑪と比べると薄くなっている。これは図-1の腹部の開口の周辺がくぼんでいるからである。このくぼみは、恐竜像作製時、左官職人が作業のため内部に入る入口であった様である。さらに、腹部の重量を減らし足部にかかる力を減らすためと考えられる。

プロントサウルスの背中側番号⑥、イグアノドンの背中側番号⑦の外皮厚さは62mmである。両恐竜像とも背中の中あたりでの外皮が薄くなっている。これも、重量を減らす工夫と考えられる。

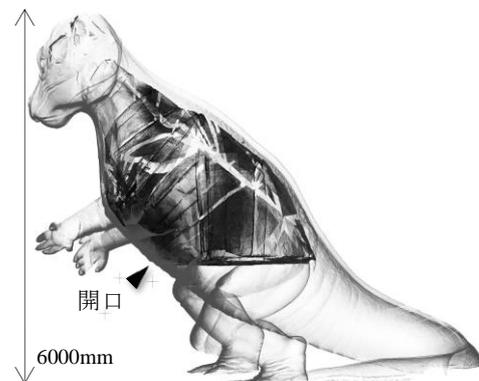


図-2 イグアノドンの全体像

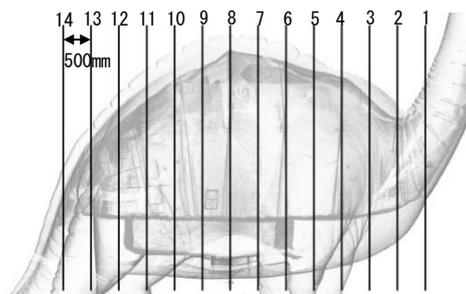


図-3 外皮の測定位置(プロントサウルス)

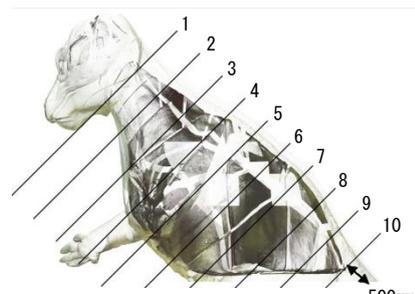


図-4 外皮の測定位置(イグアノドン)

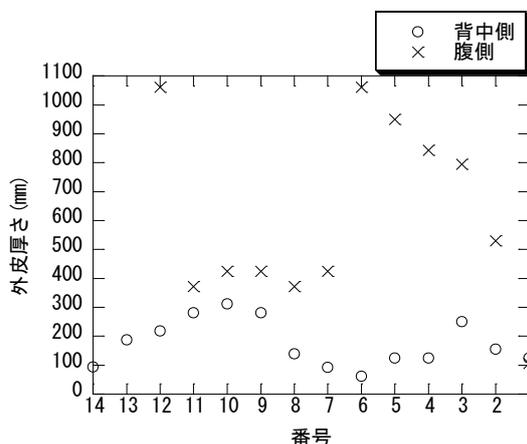


図-5 外皮厚さ(プロントサウルス)

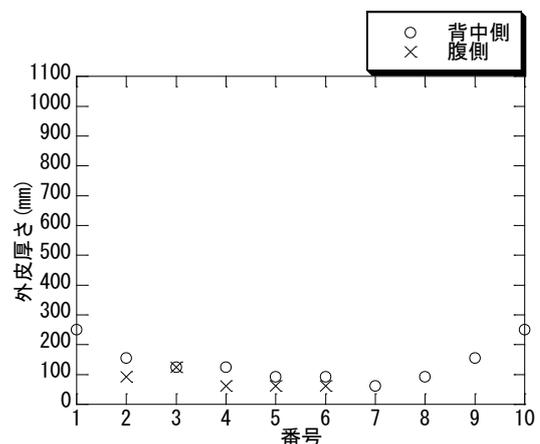


図-6 外皮厚さ(イグアノドン)

表-1 外皮厚さ(ブロントサウルス, 背中側)

背中番号	⑭	⑬	⑫	⑪	⑩	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①
厚さ(mm)	94	187	218	281	312	281	140	93	62	125	125	250	155	125
腹番号	⑭	⑬	⑫	⑪	⑩	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①
厚さ(mm)	/	/	1060	371	424	424	371	424	1060	949	843	795	530	106

表-2 外皮厚さ(イグアノドン, 背中側)

背中側番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
厚さ(mm)	250	155	125	125	93	93	62	93	155	250
腹側番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
厚さ(mm)	/	93	125	62	62	62	/	/	/	/



写真-4 鉄骨の状況  
(ブロントサウルス)

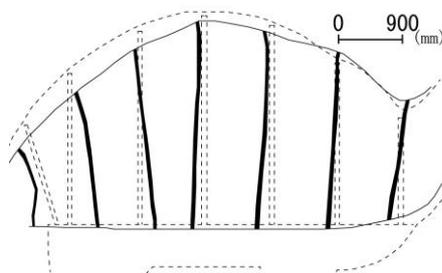


図-7 設計図面と3Dデータとの差異  
(ブロントサウルス, 左内側)

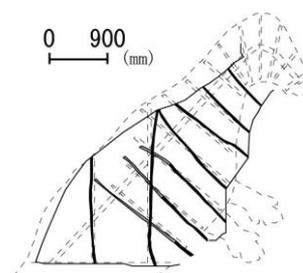


図-9 設計図面と3Dデータとの差異  
(イグアノドン, 左内側)



写真-5 鉄骨の状況  
(イグアノドン)

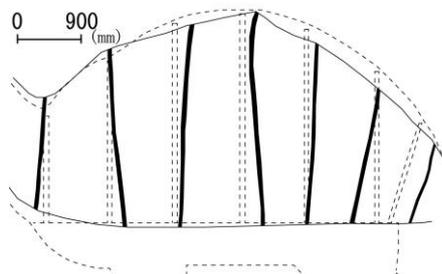


図-8 設計図面と3Dデータとの差異  
(ブロントサウルス, 右内側)

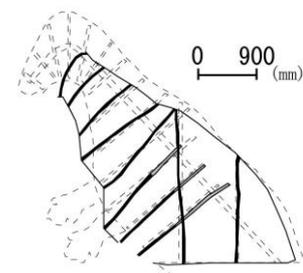


図-10 設計図面と3Dデータとの差異  
(イグアノドン, 右内側)

### 3. 内部調査の結果及び考察

#### 3.1 恐竜像内部の鉄骨位置

写真-4と写真-5に内部の鉄骨の状況を示す。全天球撮影を使用している。写真-4と写真-5に示すように、ブロントサウルスとイグアノドンの内部の鉄骨は、胴体内部の空洞部分の補強鉄骨(L-65×65×6mm)と外皮である壁面に沿った鉄骨(L-50×50×5mm)の2種類で構成される。

本研究では3Dスキャンにより正確なデータを得られている壁面に沿った鉄骨について調査を行った。当時の施工の正確性を知るために、ブロントサウルスとイグアノドンの設計図面と3Dスキャンデータより得た壁面の鉄骨の図面を重ね合わせ、その差異を調査した。2つの図面を重ね合わせたものを図-7～図-10に示す。点線が設計図面、実線が3Dスキャンデータによる鉄骨の図面を表している。図-9と図-10の一部途切れる鉄骨部分は、壁面から離れ、空洞部分の補強鉄骨と接合されている。

恐竜像内部の鉄骨は全ての部分で山形鋼が使用されている。本来、曲げて使用されるものではない種類の鉄骨である山形鋼を曲げ、外皮の曲面になるように無理に施工している。そのため、ブロントサウルスとイグアノドンのどちらも設計図面通りの正確な施工はされておらず、鉄骨が歪に曲がったり、設計図面に記載されている本来の位置からずれたりしている。

#### 3.1.1 ブロントサウルス

図-7と図-8より、ブロントサウルスの外皮の天井部分は鉄骨を首から数えて2本目の部分が設計図面よりも高く、3本目以降の部分では設計図面よりも低くなっていることが分かる。6、7本目は設計図面の位置から大きくずれている。尻尾側に近づくにつれて低くなって曲率が大きくなり、鉄骨を正確に曲げることができなかったと考えられる。またどの鉄骨も設計図面通りに垂直になっているものではなく傾きがある。その特徴として右側の1、3本目を除けば首側の鉄骨は前傾し、尻尾側の鉄骨は後傾しており扇のようになっている。

#### 3.1.2 イグアノドン

図-9と図-10より、イグアノドンは首周辺の鉄骨が設計図面よりも前傾していることが分かる。また、斜め方向に入っている鉄骨のうち、下から1～4本目は設計図面では垂直方向に入っている鉄骨と交わるようになっているが、4本目は交わっておらず隣り合った形で施工されている。それを除けば、小さなずれや曲りはあるものの、その位置は設計図面とほぼ同じ位置にあるといえる。ブロントサウルスと比べると像全体の大きさが小さいため、ずれを小さく施工することができたと考えられる。

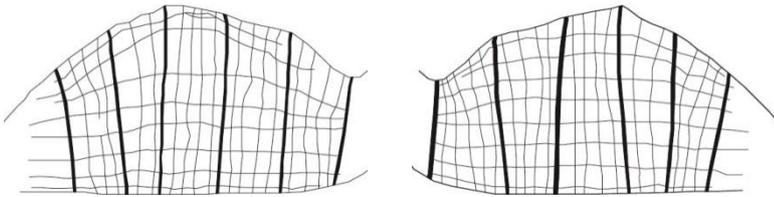


図-11 鉄筋の位置(ブロントサウルス, 左図は左内側, 右図は右内側)

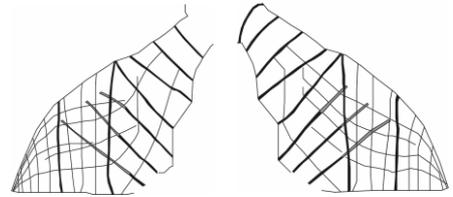


図-12 鉄筋の位置(イグアナドン, 左図は左内側, 右図は右内側)

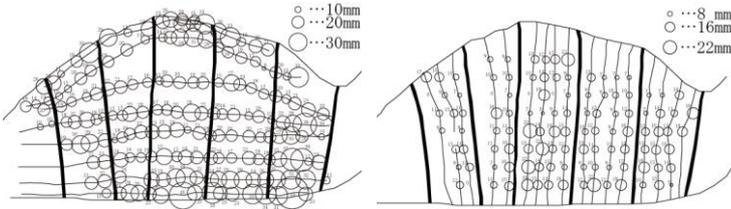


図-13 鉄筋部のかぶり厚さ(ブロントサウルス, 左内側, 左図は横鉄筋, 右図は縦鉄筋)

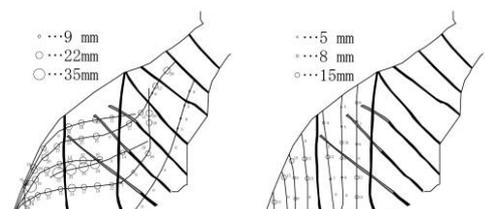


図-14 鉄筋部のかぶり厚さ(イグアナドン, 左内側, 左図は横鉄筋, 右図は縦鉄筋)

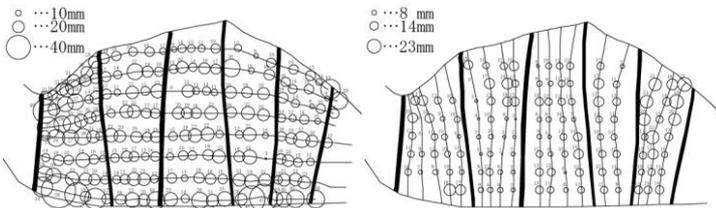


図-15 鉄筋部のかぶり厚さ(ブロントサウルス, 右内側, 左図は横鉄筋, 右図は縦鉄筋)

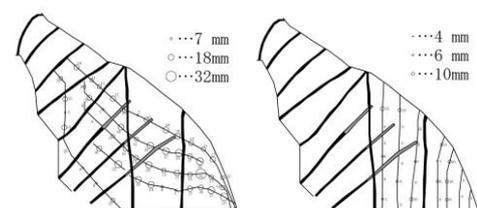


図-16 鉄筋部のかぶり厚さ(イグアナドン, 左内側, 左図は横鉄筋, 右図は縦鉄筋)

### 3.2 恐竜像内部の鉄筋の位置と鉄筋部のかぶり厚さ

鉄筋探知機を用いて、鉄筋の位置と鉄筋部のかぶり厚さの測定を行った。図-11と図-12にブロントサウルスとイグアナドンの鉄筋の位置を示す。図-13～図-16に鉄筋部のかぶり厚さを示す。左図が体の方向に沿った鉄筋(以下、横鉄筋と表す)、右図が垂直方向の鉄筋(以下、縦鉄筋と表す)である。かぶり厚さは、図内で分かりやすく示すようにその数値を丸の大ききで表している。

#### 3.2.1 ブロントサウルス

かぶり厚さを左右内側面、鉄筋の縦横の向きでそれぞれ平均値を算出する。左内側の横鉄筋で21.8mm、左内側の縦鉄筋で11.7mm、右内側の横鉄筋で19.4mm、右内側の縦鉄筋で11.1mmとなっている。右内側と左内側を比べると、右内側の方が縦横ともにかぶり厚さが小さい。かぶり厚さと目視調査の結果、恐竜像の外皮は内側から見て、内側のモルタル、縦鉄筋、横鉄筋、金網、外側のモルタルの順であることが分かった。また、右内側は東に面しており日射を受けるが、左内側の西側には木が生い茂っており日射が当たらない。右内側の鉄筋の方が日射で温度変化をし、その影響で鉄筋が体積変化を繰り返し、モルタルが浮き剥がれ落ちている部分もある。

#### 3.2.2 イグアナドン

かぶり厚さを左右内側面、鉄筋の縦横の向きでそれぞれ平均値を算出する。左内側の横鉄筋で15.1mm、左内側の縦鉄筋で7.1mm、右内側の横鉄筋で14.6mm、右内側の縦鉄筋で4.1mmとなっている。ブロントサウルスと同様に内側から見て、内側のモルタル、縦鉄筋、横鉄筋、金網、外側のモルタルの順である。イグアナドンは、かぶり厚さが0mmの部分や完全に鉄筋が露出している部分が多く見られる。

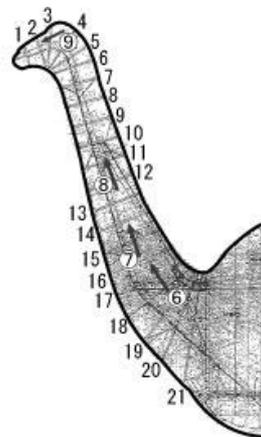


図-17 撮影の位置と向き(ブロントサウルス)

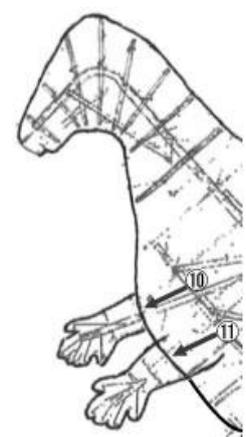


図-18 撮影の位置と向き(イグアナドン)

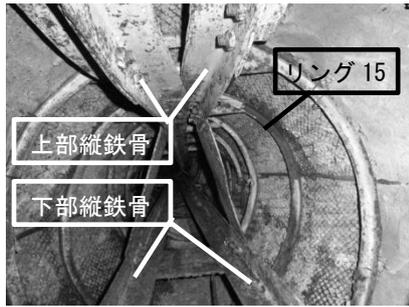


写真-6 縦鉄骨4本部分(リング15)

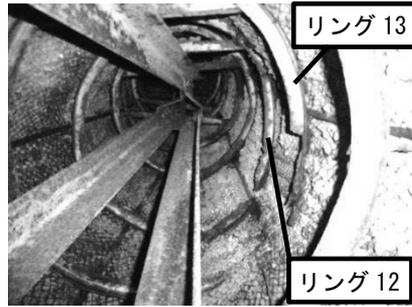


写真-7 リング13の錆びによる腐食

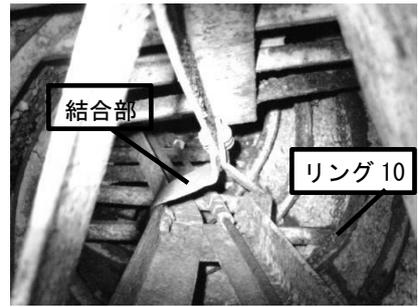


写真-8 縦鉄骨結合部(リング10)

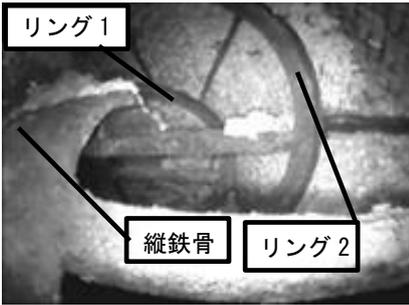


写真-9 首最深部(リング1, 2)



写真-10 イグアノドン右腕内部



写真-11 イグアノドン左腕内部

### 3.3 内視鏡調査

修復や補強が必要とされるプロントサウルスの首とイグアノドンの腕は筒状になっていて奥まで人間が入ることができず、目視調査することが困難であった。そこで、最深部まで内視鏡を用いて調査を行った。その後、より詳細な画像を得るため、劣化程度が大きい部分と補強の要所となる部分を内視鏡より解像度の高いデジタルカメラで撮影を行った。

撮影位置と向きを図-17と図-18に示す。プロントサウルスの首にはリング状にされた山形鋼(L-25×25×3mm)が21本存在している。それらの鉄骨を図-17に示すように番号を付け、以下「リング○(番号)」と表す。

#### 3.3.1 プロントサウルスの首

プロントサウルスの首内部には、首に対して垂直方向のリング状の鉄骨と首に対して同方向に入っている鉄骨(以下縦鉄骨と表す)の2種類が存在している。

縦鉄骨は写真-6に示すように上部下部に2本ずつの計4本で構成される。リング15の位置で上部2本がボルトで固定され、上部1本と下部2本になる。写真-7に縦鉄骨が3本の部分と、リング12, 13が腐食しリングが途切れている部分を示す。写真-8に3本の縦鉄骨が1つに結合され、上部と下部右側の縦鉄骨が中断し、下部左側の縦鉄骨のみが首の最深部(頭部方向)へと伸びていく様子を示す。以上より、縦鉄骨は首の根元では4本、リング15からリング10までが3本、リング10から最深部(頭部方向)にかけては1本となっていることが分かる。モーメントの一番大きい首の根元で、縦鉄骨の本数が一番多い。

写真-9に内視鏡を用いて撮影した首の最深部(頭部)であるリング1, 2の様子を示す。写真の左端に写っている鉄骨が縦鉄骨であり、小さい楕円がリング1でそれより一回り大きい楕円がリング2である。リング状の鉄骨の外側には、鉄筋、金網、モルタルがある。顔の先端部分は金網で覆われていることが確認できた。縦鉄骨の端部はモルタル内部には埋まっておらず、宙に浮いている状態であることが分かった。

#### 3.3.2 イグアノドンの腕

イグアノドンの両腕は、ひび割れが目立ち、写真-1に示すように現在木製の松葉杖で支えられており、修復と補強の対象となっている。両腕の内部の空間は狭く、目視調査が行えないため、内視鏡を用いて調査を行った。

イグアノドンの右腕内部を写真-10に、左腕内部を写真-11に示す。両腕ともリング状の鉄筋の外側には、縦鉄筋、金網、モルタルがある。腕の内部はリング状の鉄骨ではなくリング状の鉄筋を用いている。腕内部のリング状の鉄筋を見てみると、左腕はきれいに施工されているが、右腕は乱雑に施工されている。また、腕内部には空洞部分の補強鉄骨の一部から縦鉄骨が入り込んでいる。その本数が左腕は1本、右腕は3本と異なっている。右腕に入り込む3本の縦鉄骨は腕内部では1本にまとまっている。この鉄骨は宙に浮いている状態で腕内部の鉄筋とは針金で軽くつながっているだけであり、構造的な役割は果たしていないと考えられる。よって、イグアノドンの両腕は、モルタルと鉄筋で構成される筒形上の外皮で胴体に支えられていると考えられる。



写真-12 全天球撮影(ブロントサウルス, 首側半分)

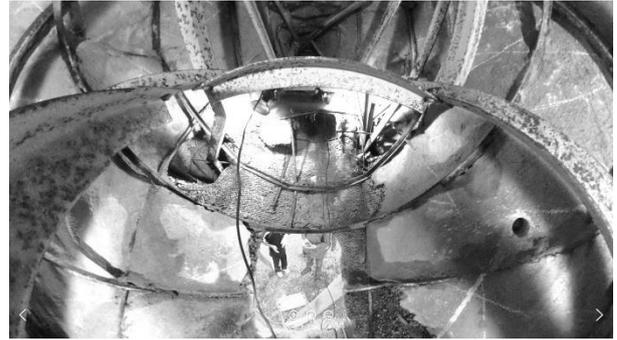


写真-14 全天球撮影(イグアノドン, 首側半分)



写真-13 全天球撮影(ブロントサウルス, 尻尾側半分)



写真-15 全天球撮影(イグアノドン, 尻尾側半分)

#### 4. 全天球撮影

写真-12～写真-15に恐竜像内部の全天球撮影を示す。超広角レンズを使用することでカメラを中心として全方向を撮影することができる。写真-12～写真-15は全天球の内、首側半分と尻尾側半分の前後に2分割して示す。この画像により恐竜像内部の全体像を示すことができる。

#### 5. おわりに

東山動植物園のコンクリート製恐竜の内部を調査した結果、以下のことが分かった。

- (1) 外皮厚さを薄くし、重量を減らす工夫がなされていた。
- (2) 鉄骨の正確な位置を3Dスキャンにより測定した。鉄骨の位置は設計図面の位置からずれていた。
- (3) 鉄筋探知機により、鉄筋の位置とかぶり厚さを求めた。外皮は内側からモルタル、縦鉄筋、横鉄筋、金網、モルタルの順であった。
- (4) 内視鏡により、ブロントサウルスの首とイグアノドンの腕の内部を調査し、鉄骨の構造や劣化状況が分かった。腐食による鉄骨の途切れを確認した。

調査結果をもとに、ブロントサウルスとイグアノドンの鉄骨は、錆び止めの塗装を行った。今後はブロントサウルスの首部分と現在松葉杖で支えられているイグアノドンの腕の補修と補強が行われることが望まれる。

謝辞：本研究は、東山動植物園恐竜像調査保存委員会にて行いました。本研究を遂行するに当たり、名古屋市緑

政土木局東山総合公園再生整備課、NPO 法人コンクリート技術支援機構、日本コンクリート工学会中部支部、中部セメントコンクリート研究会、名古屋大学中村光研究室、中部復建株式会社、谷川寛氏に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 名古屋の公園 100年のあゆみ：名古屋市，pp.236~237，2010.3
- 2) 小川健，渡辺正雄，河辺伸二：大戦を生き抜いたコンクリート像 ー名古屋東山動物園に今もひっそりと生息する恐竜たちー，コンクリート工学，pp.128~130，2010
- 3) 谷川恭雄，渡辺正雄：名古屋の生息する昭和13年生まれのコンクリート恐竜 その誕生と今，セメント・コンクリート，pp.35~39，2007
- 4) 渡辺正雄，船津繁忠，河辺伸二：名古屋市東山動物園の恐竜像～コンクリート像・造形への挑戦～，コンクリート技術支援機構，2006
- 5) コンクリート検査補修研究会：東山公園の恐竜像調査報告，1996
- 6) コンクリート検査補修研究会：東山公園恐竜像劣化調査資料，2000
- 7) 河辺伸二，渡辺正雄，中村真悟：東山動植物園のコンクリート製恐竜像の内視鏡による内部調査，コンクリート工学年次論文集，vol.36，No.1，pp.2146～2151，2014