# (58) 鋼製橋脚の変形計測における高精度点群データの活用に向けた検討

橋本尚史[1]，日高菜緒[2]，野中哲也[3]，小畑誠[4]

[1]非会員　名古屋工業大学大学院博士後期課程　工学専攻（〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町）
E-mail: 32515011@stn.nitech.ac.jp

[2]正会員　博（工）名古屋工業大学大学院助教　工学専攻（〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町）
E-mail: hidaka.nao@nitech.ac.jp

[3]正会員　博（工）名古屋工業大学大学院教授　工学専攻（〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町）
E-mail: nonaka.tetsuya@nitech.ac.jp

[4]フェロー会員　Ph. D.　名古屋工業大学大学院教授　工学専攻（〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町）
E-mail: obata.makoto@nitech.ac.jp

近年，都市高速道路の新たな路線の建設などの際に様々な制約条件により，大幅に偏心した橋脚などこれまでにない複雑な構造の適用が必要になることがある．このような構造の載荷試験をするにあたり，面外（橋軸）方向の載荷によりこれまでに見たことないようなねじり変形を伴う複雑な局部座屈の発生などが想定されることから，従来の変形計測方法では変形箇所の予測や斜めの変形取得が容易でないことが考えられる．そこで本論文では，大偏心のコンクリート充填鋼製橋脚に対する面外（橋軸）方向の載荷実験において，ねじり変形を伴う局部座屈形状の正確な把握を目的として，高精度点群データが取得可能なハンディスキャナを用いた計測の有効性を検証することにより，今後の活用の可能性を検討したので，ここに報告する．

***Key Words:*** *Laser Measurement, Point Cloud, Steel Pier, Torsional Deformation*

## 1. はじめに

近年，都市高速道路において新たな路線の建設などの際に様々な制約条件により，これまでにない複雑な構造の橋脚が必要になることがある．実際に都市部で新たに建設が予定されている橋脚では逆Ｌ字形の偏心橋脚が採用され，中には偏心率（=張り出し長さ/橋脚高さ）が約50%の大きな偏心を持つ橋脚もある．このような大偏心のコンクリート充填鋼製橋脚に対する大型の実験はあまり実施された例はなく，さらに面外（橋軸）方向の載荷実験はこれまでほとんど実施されておらず，文献1)と著者らの実験程度である．そのため塑性変形を含む終局時の局部座屈がどの位置にどの程度の大きさで発生するかを事前に正確に予測することは難しい．特に文献1)の実験のように面外（橋軸）方向の載荷によりねじり変形を伴う局部座屈の発生が予測される場合についてはなおさらである．

鋼製橋脚の耐荷力実験において，変形形状の計測についてはこれまでも様々な方法で行われている．大きく分けると特定の位置における一方向の変形を計測する点計測，特定の断面位置における変形形状を計測する断面計測，ある一定範囲の変形形状を計測する面計測がある．橋脚の形状が単純で載荷方向が１軸であれば，事前の解析により変形箇所を精度よく予測することができるため，特定の位置や特定の断面位置において載荷ステップごとに計測することでどのように変形が進行したのか精度よく計測することができる．しかしながら，複雑な構造の橋脚やねじりを伴うような変形を想定した今回のような実験を行う場合には，変形箇所を細かく予測することは難しい．仮に解析により変形箇所を予測したとしても異なる箇所でもっとも大きな変形がおこったり，局所的な変形が斜めに発生したりすることも起こりうる．したがって，破壊時の挙動の予測が難しい実験においては，特定の位置や断面位置を計測する方法では局部座屈形状を

正確に把握することは難しい（通常は文献 1）のように写真撮影による大まかな形状把握程度である）ため，実験供試体全体を短時間に高精度で面的に計測する必要がある．

そこで本研究では，大偏心のコンクリート充填鋼製橋脚に対する面外（橋軸）方向の載荷実験において，ねじり変形を伴う局部座屈形状の正確な把握を目的として，対象物の形状情報を 3 次元座標の集合データとして取得できる点群データを高精度，高密度に取得可能なハンディスキャナを用いた計測の有効性を検証することにより，今後の活用の可能性を検討したので，ここに報告する．

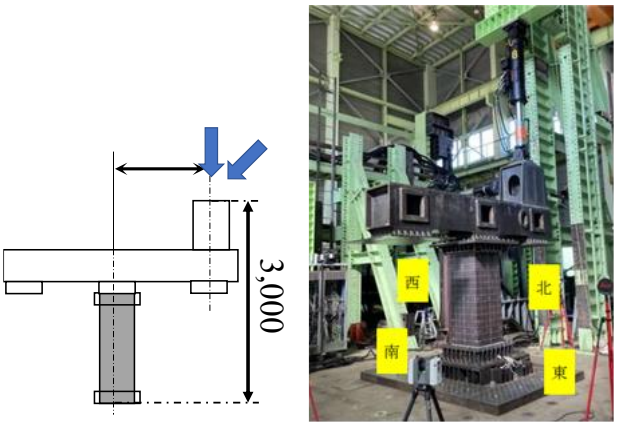



図-1　実験セットアップ状況

## 2.　面外地震荷重を受ける逆Ｌ字形コンクリート充填鋼製橋脚の耐震性能に関する実験

### (1)　実験概要

本研究では、実構造物の 1/5 スケールの補剛矩形断面鋼製橋脚供試体を製作し，図-1 のように北方向（橋軸直角方向）に偏心率 50%として載荷点を偏心させて，一定死荷重作用下での静的 1 方向繰り返し漸増載荷を実施した載荷方向は，面外（橋軸）方向に対応する東西方向である．鉛直軸力を 277.5kN（軸力比 0.03）とした．また，繰り返し漸増載荷における基準振幅は初期降伏変位 δy とし，13.2mm である．なお，コンクリートは橋脚柱部 1.5m 全てにわたって充填した．図-2 に，荷重載荷点における面外方向の水平荷重－水平変位を示す．

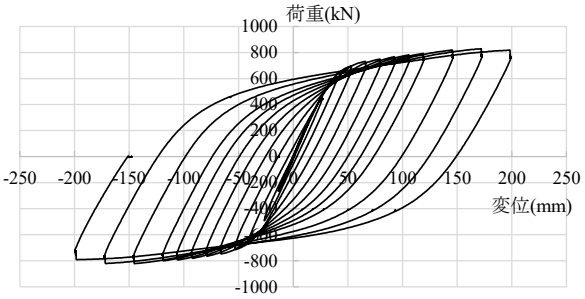



図-2　水平荷重－水平変位関係

### (2)　損傷状況

供試体の鋼パネルの変形状況図-3 に示す．載荷方向両フランジ面および偏心側ウェブ面の鋼パネルに局部座屈が生じ，特にフランジ面上に特徴的な 45 度斜め方向の座屈モードが確認された．

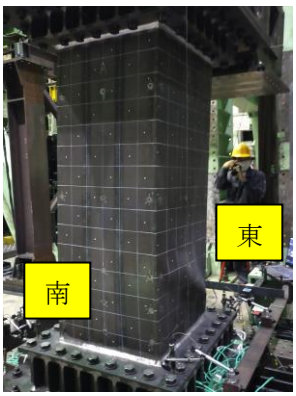



図-3　実験後の損傷状況

## 3.　ハンディスキャナ計測

### (1)　使用機器

今回採用したハンディレーザースキャナは HandySCAN BLACK | Elite（測定解像度: 0.025mm，精度: 0.025mm）である．ハンディスキャナには大きくわけて２種類の測定方式がある．１つは今回採用したレーザーにより計測するものともう１つは画像を取得して計測するものである．レーザーにより計測するタイプはレーザー光を測定対象物に照射して反射した光を受光部で取得することで計測を行うのに対して，画像を取得して計測するタイプは赤外線や LED の光源を使用し独自のパターンを計測対象に照射して，画像に写った独自のパターンの歪みを解析することで計測を行っている．一般的に，画像を取得して計測するタイプは，赤外線や LED の光源を利用しているため，屋外での利用については日光により使用している光源のパターンが見えなくなるような状況では計測できない．その点，今回採用した HandySCAN BLACK | Elite は屋外の直射日光のあたるような状況でも計測することができるため，本研究の実験供試体の計測だけでなく今後の既存橋梁の計測への利用の可能も含めて選択した．

また，ハンディスキャナにはターゲットを必要とするタイプとターゲットを必要としないタイプがある．今回採用した HandySCAN BLACK | Elite はターゲットを必要と

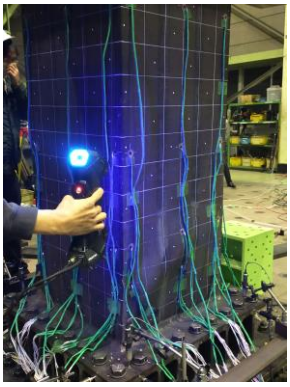


図-4　ハンディスキャナによる計測状況

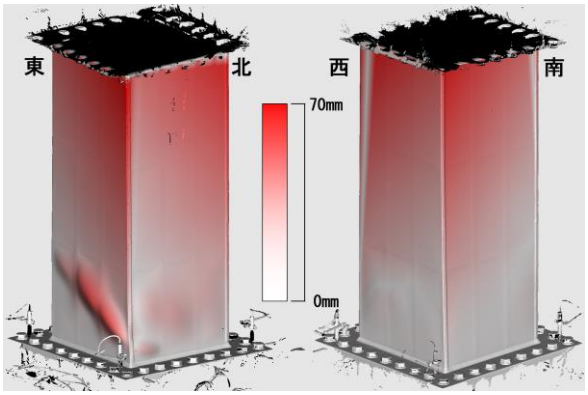



図-6　初期形状と実験終了時の差分

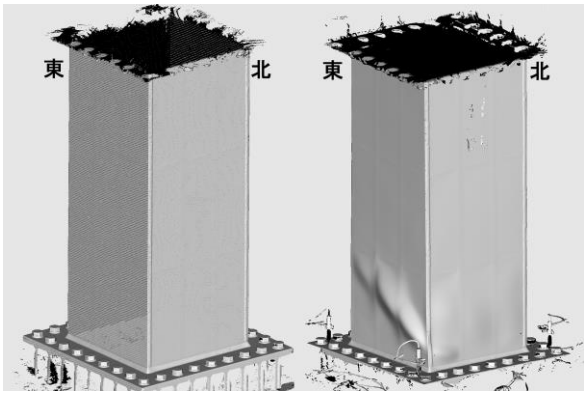



図-5　ハンディスキャナによる計測結果
（左：実験前，右：実験後）

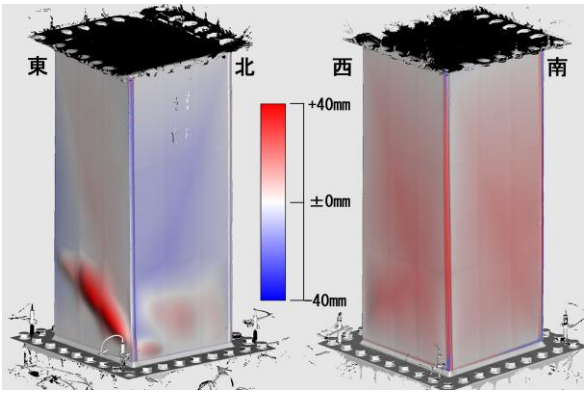



図-7　基準面と実験終了時の差分

するタイプのため，計測を行う際に事前に計測対象物にターゲットを貼る必要がある．ターゲットを必要としないタイプと比較すると計測前の準備に時間が掛かるが，ターゲットを使用することで，今後の既存橋梁の計測の際には，トータルステーションなどと組み合わせて橋梁全体を測定した他のデータと局所的に計測したハンディスキャナの統合が容易になることが期待できる．本論文では，西向きが x 軸，南向きが y 軸，鉛直方向が z 軸に対応する座標系を設定して点群データを計測した．

図-4 に実験供試体へのターゲットの設置状況と計測状況を示す．ターゲットは約 10cm~15cm 間隔で計測対象となる実験供試体全体に貼り付ける必要がある．計測はハンディスキャナを実験供試体から 30cm 前後離した位置からレーザーを照射することで行う．計測された形状はリアルタイムで処理用 PC の画面に表示されるため計測状況を確認しながら行う．計測は実験前の初期形状，載荷ステップの折り返し点，実験終了後に行った．ターゲットを貼り付ける計測前の準備の時間を除いた今回の実験供試体全体を計測するのに必要な時間は 10 分程度である．

### ⑵　計測結果

ハンディスキャナで計測した実験開始前の初期形状と実験終了時の計測データを図-5 に示す．図-3 に示した実験後の損傷状況について局部座屈形状含めて実験供試体全体を精度よく面的に計測できていることが分かる．実験終了時の変形量について，図-6 に実験後の点群から実験前の最近傍点までの距離を示す．変位量の最大値は局部座屈形状としてフランジ面上に，特徴的な 45 度斜め方向の座屈モードが見られた部分で 60mm 程度である．しかし，局部座屈が発生していない実験供試体上部で大きな変位を示していることからもわかるように，60mm の変位量には局部座屈における変位量だけでなく橋脚全体の変位量も含まれるため変形状態を正確に評価できていない．特に今回の実験では偏心載荷によるねじり変形が発生しているため，それを考慮した基準面を定める必要がある．変形していない各面の基部直上と上部直下のラインをもとに基準面を作成して橋脚全体の移動量を除いた変形による変位量を確認した．図-7 に基準面と実験終了時の差分を示す．初期形状と実験終了時の差分では，座屈変形が発生してない供試体上部の変位がでていたが，基準面に対する実験終了時の差分とすることで供試体上部の変位は小さくなった．しかしながら，基部と上部のラインをもとに作成した基準面は，形状としては基部の

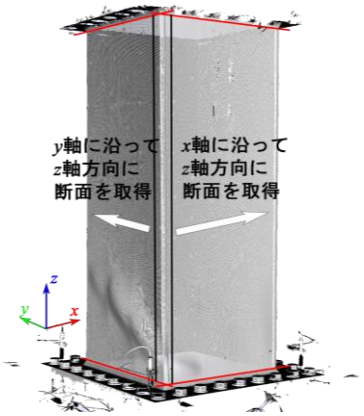



図-8　実験終了時の点群データの断面取得方法

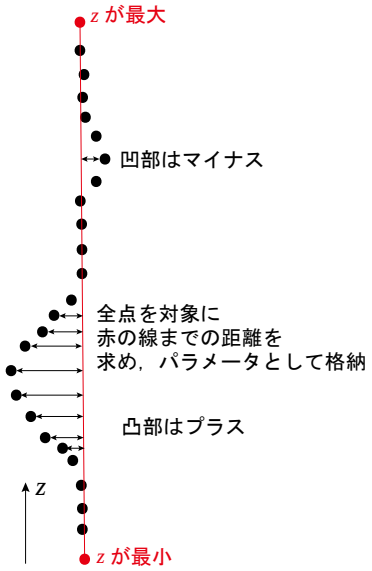



図-9　基準線の設定方法と変形量について

ラインと上部の端を繋いだ三角形と基部の端と上部のラインを繋いだ三角形で構成されており，基部と上部を斜めに結んだラインで面が折れているため，その位置で実験終了時の形状と差分が大きくなっていることが分かる．

そこで，基準面を作成するのではなく断面ごとに基準線を作成して，その基準線から計測された点群までの距離を変形における変位量とする方法を検討した．断面については図-8 に示すように x 軸に沿って z 軸方向に細かく断面を取得する．また，同様に y 軸に沿って z 軸方向に細かく断面を取得する．この際に基部と上部については溶接のビートを含まない赤線の範囲の点群のみを採用している．次に各断面の基準線の設定方法については図-9 に示すように各断面の z の最小値と最大値の点を結んだ線する．そして基準線に対してすべての点について距離を 求める．凹の部分はマイナス，凸の部分はプラスとする．

各断面の計算結果を図-10 に示す．実験前の初期形状と実験終了時の差分で 60mm の最大値を示した局部座屈

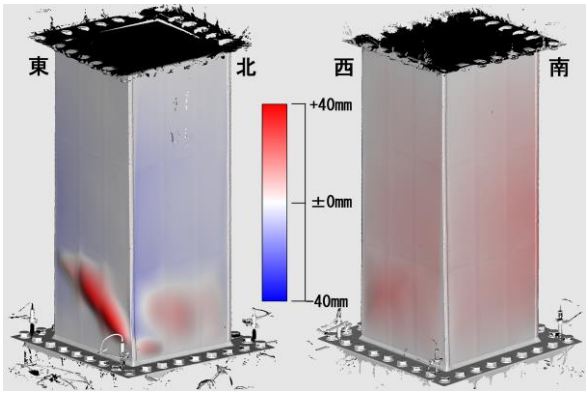



図-10　各断面の計算結果について

の発生した箇所での変形量は 35mm となった．また，図-10 の右側の供試体下部については，図-6 では全体的な移動量に対して変形量が小さかったために変形形状は認識しづらかった部分がはっきりと変形を認識できるようになった．さらに，図-10 の左側の 45 度斜め方向の座屈モードについては，図-7 と比較してもその座屈モードだけがより明確に認識できるようになった．

## 4.　おわりに

本研究では，大偏心のコンクリート充填鋼製橋脚に対する面外（橋軸）方向の載荷実験において，ねじり変形を伴う局部座屈形状の正確な把握を目的として，高精度点群データが取得可能なハンディスキャナを用いた計測を行った．そして，計測した点群データから局部座屈形状を定量的に評価する方法を検討した．

**謝辞**：本研究の載荷実験にあたり，愛知工業大学の鈴木森晶先生，嶋口儀之先生に実験室のご提供並びに実験のご協力を頂きましたので，ここに記して謝意を示します．本研究は，(一財)日本建設情報総合センターの研究助成を受けて実施したものです．

**参考文献**

1)　青木徹彦，鈴木真一，渡辺俊輔，鈴木森晶，宇佐美勉，葛漢彬：面外繰り返し水平力を受ける逆 L 形鋼製箱形断面橋脚の強度と変形能に関する実験的研究，土木学会論文集，No.724/1-62，pp.213-223，2003