

幾何公差を適用した 橋脚の3次元アノテティドモデルの提案

城古 雅典¹・森脇 明夫²・宮本 勝則³・福士 直子⁴・
有賀 貴志⁵・矢吹 信喜⁶

¹正会員 国土基盤モデル研究会 (〒191-0011 東京都日野市日野本町3-8-3)
E-mail:jiyouko.m@jcity.maeda.co.jp / contact@inframodel.org

²非会員 ダッソー・システムズ株式会社 建築・建設業界担当
(〒141-6020 東京都品川区大崎2丁目1番1号ThinkParkTpwer20F)
E-mail:akio.moriwaki@3ds.com

³正会員 一般財団法人日本建設情報総合センター (〒107-8416 東京都港区赤坂7-10-20)
E-mail:miyamotk@jacic.or.jp

⁴学生会員 国際航業株式会社 技術サービス本部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1)
E-mail:naoko_fukushi@kk-grp.jp

⁵正会員 国土基盤モデル研究会 (〒191-0011 東京都日野市日野本町3-8-3)
E-mail:t.aruga@conport.jp / contact@inframodel.org

⁶フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail:yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

3次元モデルの幾何特性についての公差の設定は、寸法に着目した寸法公差ではなく幾何特性に着目した幾何公差を用いることの方がよりの確に表現できると考えられる。

本研究では、橋脚の3次元設計モデルに幾何公差のアノテーションの適用について考察を行った結果、橋梁躯体工、既製杭工（鋼管ソイルセメント杭）、鉄筋工（組立て）において、土木工事施工管理基準の規格値を満たす幾何公差を適用することができた。これにより、従来の寸法による表現に比べ、図面解釈の一義性が保証されることにより、あいまいさや解釈の違いが排除され、正確な情報伝達が行なわれるため、土木構造物の精度が向上するものと考えられる。

Key Words : 3D annotated model , geometric tolerance , datum , theoretically exact dimension

1. はじめに

2016年3月、日本産業規格（JIS）の改定^{1)~3)}により、これまで普通に「寸法」と呼ばれていたものが、「サイズ」と呼ばれるようになった。サイズとはGPS（製品の幾何特性仕様：Geometric Product Specification）のことであり、形体同士の位置に関しては、寸法公差を適用せずに幾何公差を用いることが明確に規定された。

製造業における製品の図面には、寸法に加え許容値である寸法公差や幾何公差が記載されており、電子情報技術産業協会（JEITA）や日本自動車工業会（JAMA）は2006年に制定されたISO 16792⁴⁾に準じた3次元アノテティドモデルのガイドライン^{5)~6)}を制定している。

一方、公共事業における土木構造物の図面には理論的に正確な寸法が記載されており、許容値は出来形管理基準に測定項目と規格値が記載されている。また、国土交通省が平成30年3月に制定した3次元モデル表記標準（案）⁷⁾では、3次元アノテティドモデルの表記方法は示されているが、寸法公差や幾何公差の記載はない。

著者らの先行研究により、3次元橋脚設計モデルのうち、橋脚躯体工、鋼管ソイルセメント杭、鉄筋について、出来形管理基準の規格値を寸法公差として付与することができた⁸⁾。しかしながら、鋼管ソイルセメント杭の偏心量については、真の位置が長さではなく点であるため、寸法公差では表現できなかったが、幾何公差の位置度で表現することができた。

また、鋼管ソイルセメント杭の傾斜については寸法公差では1方向についての傾斜の規定しかできなかったが、幾何公差では円筒度を適用し、許容範囲の円筒と杭の表面を比較する方法により、すべての方向に対する傾斜を規定することができた⁹⁾。

さらに、幾何公差の適用により公共事業の課題である「人口減少や少子高齢化による労働者不足」の対策として外国人の活用を考えた場合、作りたいものを相手に理解してもらうことが重要であるが、外国人を活用する場合、言葉や文化の違いが問題となるものと思われる。そこで、3次元形状を目で見て理解することと、数字で示された寸法は万国共通のものであり、これらを利用することにより、言葉が通じなくても作りたいものがイメージできるのではないかと考えた。そこで、3次元設計モデルにアノテーションとしての寸法を付加した3D アノテティドモデルは有効なツールとなるものと思われる。しかしながら、寸法及び寸法公差ではあいまいさが排除できないが、幾何公差を使用することにより、図面解釈の一義性が保証されることにより、あいまいさや解釈の違いが排除され、正確な情報伝達が行なわれる。また、幾何公差はISOで規定された国際標準である14種類(表-1)の記号で表現されるため、従来の図面に記載されている日本語を理解するよりは、幾何公差の記号を理解する方が容易であるものと考えられる¹⁰⁾。

本研究の目的は、公共事業における土木構造物の図面も日本産業規格に準じて幾何公差を適用する必要があることを提言し、具体例として橋脚の3次元設計モデルに、橋梁躯体工、既製杭工(鋼管ソイルセメント杭)、鉄筋工(組立て)の土木工事施工管理基準の規格値を満たす幾何公差の適用方法について考察するものである。

2. 幾何公差

(1) 幾何公差とは

欧米では幾何公差はGeometric dimensioning and tolerancing(幾何学的寸法と公差、以下、GD&T)といい、ASME Y14.5 Dimensioning and Tolerancing¹¹⁾などがある。

幾何学的特徴を表現するための研究では円筒形の幾何公差の提案に関する研究¹²⁾などや幾何公差を含むデータモデルの開発に関する研究¹³⁾などがある。

また、ASME Y14.5やISO 1101などの既往の標準に積層造形(additive manufacturing, 以下AM)などの新しい製造技術に適用する際の影響評価に関する研究¹⁴⁾など様々な事例がある。

JIS Z 8114¹⁵⁾では、幾何公差を「幾何偏差(形状、姿勢及び位置の偏差並びに振れ)の許容値」と定義している。

最近の工業製品は、産業技術のめざましい発展とともに、きわめて高度化、精密化され、性能も格段に向上したのが見られるようになった。したがって製品の各部分にも、一段と高い精度や互換性が要求されてきたが、その一環としてとくに大きくクローズアップされているのが幾何公差である。

寸法公差は、主として二点間測定による長さ寸法だけの規制である。ところが、一般に品物は、頂点、稜線、面等の各形状要素が結合して幾何学的形体を有している。これらの形体を幾何学的に完全な状態に仕上げることはもとより不可能なので、どの程度までの狂いであれば許容されるかについて、あらかじめ図面に示しておかなければならない。このような形体に対する偏差の許容値を幾何公差といい、JIS B 0021(製品の幾何特性仕様)¹⁶⁾で、その記号による表示と、それらの図示方法について規定されている¹⁷⁾。

(2) 幾何公差の種類と記号

a) 幾何公差と幾何偏差

幾何公差の種類とその記号を表-1に示す。幾何公差「幾何偏差(形状、姿勢及び位置の偏差並びに振れ)の許容値」¹⁵⁾については、JIS B 0021(製品の幾何特性仕様)¹⁶⁾で定義されているが、幾何公差「対象物の形状偏差、姿勢偏差、位置偏差及び振れ」¹⁸⁾については、JIS B 0621(幾何公差の定義及び表示)¹⁸⁾で定義されている。

b) 形体とデータム

形体とは、「幾何公差の対象となる点、線、軸線、面又は中心面」¹⁸⁾である。

データムとは、「形体の姿勢偏差、位置偏差、揺れなどを決めるために設定した理論的に正確な幾何学的基準」¹⁸⁾であり、例えば、幾何学的基準が点、直線、軸直線、平面及び中心平面の場合には、それぞれデータム点、データム直線、データム軸直線、データム平面及びデータム中心平面という¹⁸⁾。

c) 形状公差・姿勢公差・位置公差・振れ公差

形状公差とは、「幾何学的に正しい形体(例えば、平面)をもつべき形体の形状偏差に対する幾何公差」¹⁵⁾である。

姿勢公差とは、「データムに関連して、幾何学的に正しい姿勢関係(例えば、平行)をもつべき形体の姿勢偏差に対する幾何公差」¹⁵⁾である。

位置公差とは、「データムに関連して、幾何学的に正しい位置関係(例えば、同軸)をもつべき形体の位置偏差に対する幾何公差」¹⁵⁾である。

振れ公差とは、「データム軸直線を中心とする幾何学的に正しい回転面(データム軸直線に直角な円形平面を含む。)をもつべき形体の振れに対する幾何公差」¹⁵⁾である。

表-1 幾何公差の種類と記号¹⁸⁾

公差の種類		記号	適用する 形体	定 義
形状公差	真直度		単独形体	直線形体の幾何学的に正しい直線（以下、幾何学的直線という。）からの狂いの大きさ。
	平面度			平面形体の幾何学的に正しい平面（以下、幾何学的平面という。）からの狂いの大きさ。
	真円度			円形体の幾何学的に正しい円（以下、幾何学的円という。）からの狂いの大きさ。
	円筒度			円筒形体の幾何学的に正しい円筒（以下、幾何学的円筒という。）からの狂いの大きさ。
	線の輪郭度		単独形体 または 関連形体	理論的に正確な寸法によって定められた幾何学的に正しい輪郭（以下、幾何学的輪郭という。）からの線の輪郭の狂いの大きさ。
	面の輪郭度			理論的に正確な寸法によって定められた幾何学的輪郭からの面の輪郭の狂いの大きさ。
姿勢公差	平行度		関連形体	デーラム直線又はデーラム平面に対して平行な幾何学的直線又は幾何学的平面からの平行であるべき直線形体又は平面形体の狂いの大きさ。
	直角度			デーラム直線又はデーラム平面に対して直角な幾何学的直線又は幾何学的平面からの直角であるべき直線形体又は平面形体の狂いの大きさ。
	傾斜度			デーラム直線又はデーラム平面に対して理論的に正確な角度をもつ幾何学的直線又は幾何学的平面からの理論的に正確な角度をもつべき直線形体又は平面形体の狂いの大きさ。
位置公差	位置度			デーラム又は他の形体に関連して定められた理論的に正確な位置からの点、直線形体又は平面形体の狂いの大きさ。
	同軸度			デーラム軸直線と同一軸線にあるべき軸線のデーラム軸直線からの狂いの大きさ。
	対称度			デーラム軸直線又はデーラム中心平面に関して互いに対象であるべき形体の対象一からの狂いの大きさ。
振れ公差	円周振れ			デーラム軸直線を軸とする回転面をもつべき対象物又はデーラム軸直線に対して垂直な円形平面であるべき対象物をデーラム軸直線の周りに回転したとき、その表面が指定した位置又は任意の位置で指定した方向に変位する大きさ。
	全振れ			デーラム軸直線を軸とする円筒面をもつべき対象物又はデーラム軸直線に対して垂直な円形平面であるべき対象物をデーラム軸直線の周りに回転したとき、その表面が指定した方向に変位する大きさ。

d) 単独形体と関連形体

単独形体とは、「デーラムに関連なく、その形状自体に幾何偏差が決められる形体」¹⁸⁾である。

関連形体とは、「デーラムに関連して、相手との関連を指定して幾何偏差が決められる形体」¹⁸⁾である。

3. 既往の研究

(1) 土木分野における既往の研究

土木分野における既往の研究について、土木学会ホームページにある、土木学会附属土木図書館の目録・書誌検索¹⁹⁾を使って土木学会誌、土木学会論文、土木学会委員会論文集、支部論文集に投稿された研究論文をキーワード「幾何公差」で検索したところ、3件^{20) 21) 22)}抽出されたが、これらは著者らの先行研究であり、土木分野

における幾何公差の既往の研究はなかった。

(2) 土木分野以外における既往の研究

著者らは以前より文献調査法²³⁾を参考にして、国立国会図書館雑誌記事索引のNDL-OPAC²⁴⁾、国立情報学研究所のCiNii²⁵⁾、科学技術振興機構のJ-STAGE²⁶⁾による既往の研究を、キーワード「幾何公差 and 3次元」、「幾何公差 and 三次元」、「幾何公差 and 3D」で抽出された12件^{27) -38)}の文献調査を行っており、考察結果を以下に示す。

➤ グローバルなものづくりを行う際は、幾何特性を的確に指示できる幾何公差を使用することが必要である。幾何公差を使用することにより、図面解釈の一義性が保証されることにより、あいまいさや解釈の違いが排除され、正確な情報伝達が行なわれる。

- 欧米では幾何公差を適用した図面作りが進んでいるが、日本は遅れをとっている。その理由は、図面を受け取る側の日本の熟練技術者たちは、勘や経験による職人的な技術でものづくりを行っており、同一企業内や国内のアッセンブリメーカーと部品メーカー間で製造を行ったり、同じ場所で、同じ人間が、同じ機械を使って部品を造っている環境で、ものづくりが行なわれているからである。
- 幾何公差を使用することにより、大きな経済効果を上げることができる。具体的には、加工方法および加工条件を決めた管理による検査の減少及び、最大実体公差方式の適用による機能ゲージを使った検査や不良品の減少により、製造・検査のコストを削減することができる。また、公差域の拡大による不良品の減少や、不必要に高精度につくられていた部品の適正化や、公差指示のあいまいさに起因した不具合の発生の減少によっても、コストを削減することができる。
- 幾何公差は、寸法公差に比べ公差域が数多く用意されているため、対象物の幾何特性に関する設計意図を確実に、かつ正確に指定することができる。そのため、設計者が製品上の必要個所に適切な幾何公差情報を指定できるので、早期の品質確保に貢献している。そのためには、設計が製造と検査を理解した上で使わないと意味をなさないため、設計・製造・検査・品質保証などの各部署が常に連携を保っていく必要がある。
- 幾何公差は、加工方法・測定方法を暗示できる。そのため、組み付け順序や検査の順序を幾何公差の設定に反映する「データム系」の設定には十分な注意が必要となる。
- 3次元CADでは複雑な形状モデリングができるため、3次元モデルの幾何特性について、公差の設定を幾何公差を用いてより的確に表現することができる。3次元モデルへ幾何公差を適用した3DAモデルの導入により、2次元図面を削減することができる。また、3次元公差解析との連携により、解析精度を向上させることができる。しかしながら、既存の3次元CADではJISの表記方法を用いて3次元モデルへ幾何公差の表記ができない場合がある。
- 幾何公差を使用した検査においては、計測点群と幾何公差情報に基づき公差の合否判定が行える、いつ、どこで、だれが行っても検証結果が同じであるといった利点があり、寸法の検査から位置決めや基準を明確にした検査や、人間が介在しない合否自動判定が行えるようになる。

4. 実装

i-Construction³⁹⁾ではICT技術の全面的な活用に対し土工を、規格の標準化に対しコンクリート工を取り上げている。土工に関しては基準が整備されており、調査・測量・設計、施工、検査までの一連の流れが確立されている。一方コンクリート工においては、サイズの規格化や鉄筋の配筋などの課題が抽出されているが、課題解決には至っていない。しかしながら、サイズの規格化や鉄筋の配筋などの課題は3次元形体のサイズや位置に由来するものと考えられる。また、i-Constructionのコンクリート工では橋梁を対象としている。

本研究では、ソリッド形状の橋脚で3次元アノテーションモデルを作ることとした。モデル化する橋脚は、横環南栄IC・JCT下部（その12）工事のPU13橋脚（上り線）とし、申請を行って国土交通省関東地方整備局の情報公開室PCからCD-Rにコピーした2次元図面をもとに3次元設計モデルを作成した。幾何公差の許容値は、国土交通省関東地方整備局が制定している、「土木工事施工管理基準及び規格値 平成29年4月5日改訂」⁴⁰⁾の出来型管理基準及び規格値を採用した。また、以前の研究⁴¹⁾で3次元アノテーションモデルを作成する際、ISO 16792⁴²⁾が最も重要な基準であることが判明したので、幾何公差の適用についてもISO 16792に準拠することとした。そして、アプリケーションは、日本自動車工業会（JAMA）で3Dアノテーションの検証がなされた際、最も高いスコアを記録したダッソー・システムズ株式会社のCATIAを使用した⁴³⁾。

橋脚の3次元設計モデルへの幾何公差の適用については、橋脚躯体工、既製杭工（鋼管ソイルセメント杭）、鉄筋工（組立て）について検討を行うこととした。検討方法については、それぞれの測定項目に対し、どのような幾何公差を適用して規格値を表現すべきかを考察することとした。

5. 考察

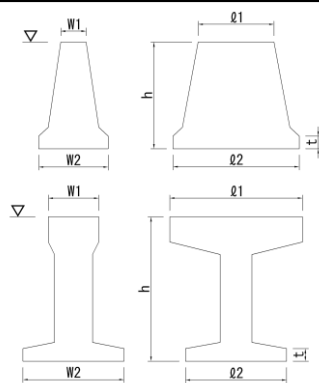
(1) 橋梁躯体工

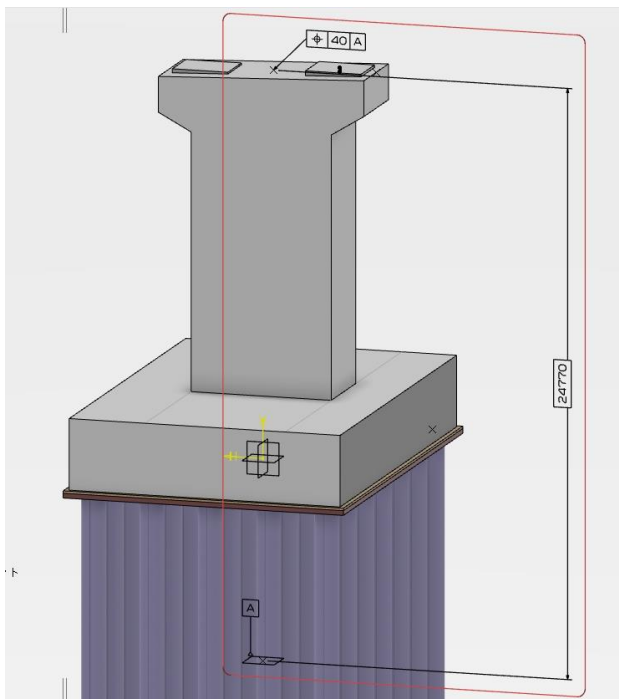
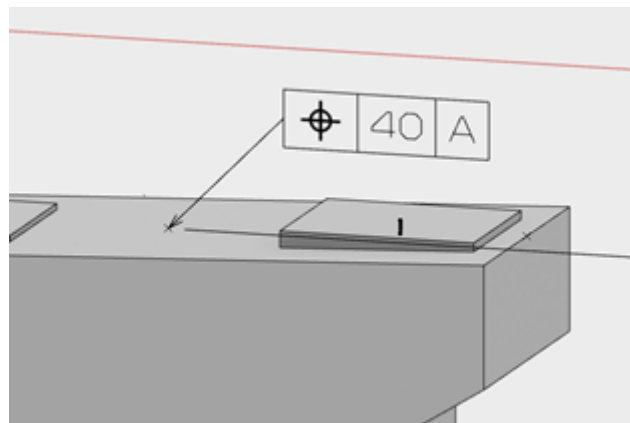
橋梁躯体工の測定項目、規格値、測定基準、測定箇所は表-2に示す通りである。

a) 基準高 ▽

「基準高 ▽」は図-1、図-2に示すように位置度を適用することとした。基準高0の地点に仮想平面を作り、その仮想平面をデータムAに採り、四角で囲まれて表示されている理論的に正しい寸法24,770mmのところにある「×」で表示された点が、±20mmであれば良いと判断した。ISO 16792では点の要素に向かう引出線の終点は

表-2 橋脚躯体工の出来形管理基準及び規格値³⁹⁾

工種	測定項目	規格値	測定基準	測定箇所
橋脚躯体工	基準高 ∇	$\pm 20\text{mm}$	橋軸方向の断面寸法は中央及び両端部, その他は寸法表示箇所.	
	厚さ t	-20mm		
	天端幅 $w1$ (橋軸方向)	-20mm		
	敷幅 $w2$ (橋軸方向)	-50mm		
	高さ h	-50mm		
	天端長 $Q1$	-50mm		
	敷長 $Q2$	-50mm		

図-1 基準高 ∇ の幾何公差図-2 基準高 ∇ の幾何公差

矢印を使用することになっているので、基準高である「 $\times$ 」の地点を指し示す幾何要素の引出線は矢印を使用している。また、表-2の規格値は $\pm 20\text{mm}$ 以上となっているので、公差値を 40mm と設定した。

b) 厚さ t

「厚さ t 」は図-3に示すように平行度を適用することとした。均しコンクリート上面をデータムBに採り、四角で囲まれて表示されている理論的に正しい寸法 $3,000\text{mm}$ のところにあるフーチング上部の上面と側線との境界線(稜線)が -20mm より大きければ良いと判断した。今回作成したモデルは均しコンクリート上面とフーチング上面が平行であるため、フーチング上部の稜線ではなく、フーチング上面を幾何公差の対象としても良いが、表-2の測定箇所の図は、フーチング上面に傾斜がついているため、フーチング上部の稜線を幾何公差の対象

とすることとした。ISO 16792では線の要素に向かう引出線の終点は矢印を使用することになっているので、フーチング上部の稜線を指し示す幾何要素の引出線は矢印を使用している。また、表-2の規格値は -20mm 以上となっており上限が定められていないが、幾何公差は数値的な公差値の設定が必要なため、本研究では規格値を $\pm 20\text{mm}$ とし、公差値を 40mm と設定することとした。

c) 天端幅 $w1$ (橋軸方向)

「天端幅 $w1$ (橋軸方向)」は図-4に示すように位置度を適用することとした。右側の梁上部の稜線をデータムCに採り、四角で囲まれて表示されている理論的に正しい寸法 $3,500\text{mm}$ のところにある左側の梁上部の稜線が -20mm より大きければ良いと判断した。今回作成したモデルは左右の梁の側面が平行であるため、梁上部の稜線ではなく、梁の側面を幾何公差の対象としても良いが、

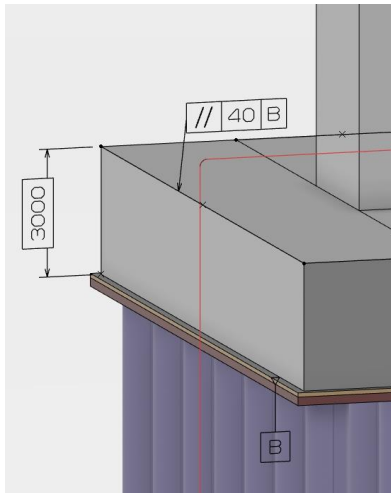
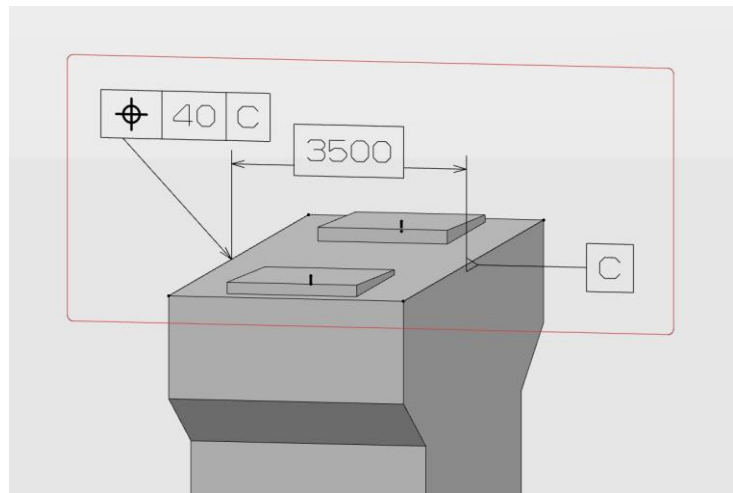
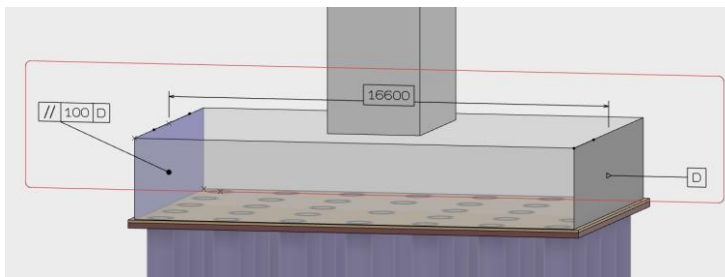
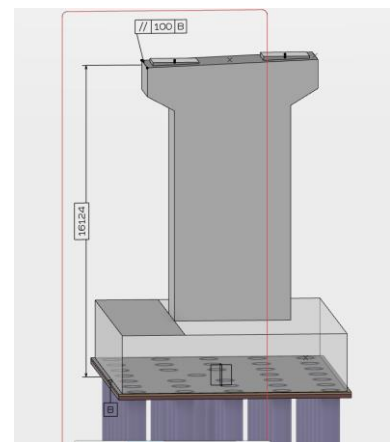
図-3 厚さ t の幾何公差図-4 天端幅 w_1 (橋軸方向) の幾何公差図-5 敷幅 w_2 (橋軸方向) の幾何公差図-6 高さ h の幾何公差

表-2の図は、梁の側面に傾斜がついている場合も示されているため、梁上部の稜線を幾何公差の対象とすることとした。ISO 16792では線の要素に向かう引出線の終点は矢印を使用することになっているので、梁上部の稜線を指し示す幾何要素の引出線は矢印を使用している。また、表-2の規格値は-20mm以上となっており上限が定められていないが、幾何公差は数値的な公差値の設定が必要なため、本研究では規格値を±20mmとし、公差値を40mmと設定することとした。

d) 敷幅 w_2 (橋軸方向)

「敷幅 w_2 (橋軸方向)」は図-5に示すように平行度を適用することとした。右側のフーチングの側面をデータMに採り、四角で囲まれて表示されている理論的に正しい寸法16,600mmのところにある左側のフーチング側面が、-50mmより大きければ良いと判断した。今回作成したモデルは左右のフーチングの側面が平行であり、表-2の測定箇所を図も左右のフーチングの側面が平行で示されているため、フーチングの側面を幾何公差の対象とすることとした。ISO 16792では面の要素に向かう引出線の終点は点を使用することになっているので、フー

チングの側面を指し示す幾何要素の引出線は点を使用している。また、表-2の規格値は-50mm以上となっており上限が定められていないが、幾何公差は数値的な公差値の設定が必要なため、本研究では規格値を±50mmとし、公差値を100mmと設定することとした。

e) 高さ h

「高さ h 」は図-6に示すように平行度を適用することとし、幾何公差の適用方法は、「厚さ t 」と同様とした。

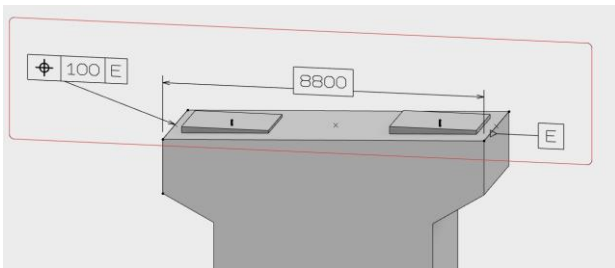
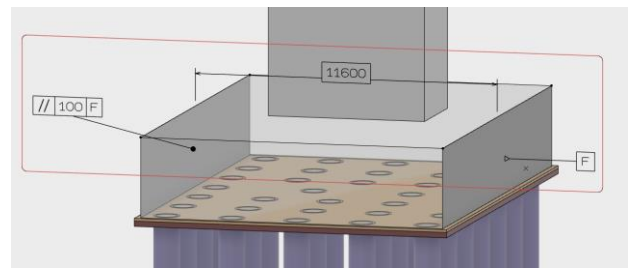
表-2の測定箇所の図は均しコンクリート上面と梁上面が平行となっているが、今回作成したモデルは、梁上面に傾斜がついているため、「厚さ t 」と同様に梁上部の稜線を幾何公差の対象とすることとした。

f) 天端長 l_1

「天端長 l_1 」は図-7に示すように位置度を適用することとし、幾何公差の適用方法は、「天端幅 w_1 (橋軸方向)」と同様とした。

g) 敷長 l_2

「敷長 l_2 」は図-8に示すように平行度を適用することとし、幾何公差の適用方法は、「敷幅 w_2 (橋梁

図-7 天端長 ℓ_1 の幾何公差図-8 敷長 ℓ_2 の幾何公差表-3 既製杭工（鋼管ソイルセメント杭）の出来形管理基準及び規格値³⁹⁾

工種	測定項目	規格値	測定基準	測定箇所
既製杭工 (鋼管ソイルセメント杭)	基準高 ∇	$\pm 50\text{mm}$	全数について杭中心で測定.	$d = \sqrt{(x^2 + y^2)}$
	根入長	設計値以上		
	偏心量 d	100mm以内		
	傾斜	1/100以内		
	杭径 D	設計値以上		

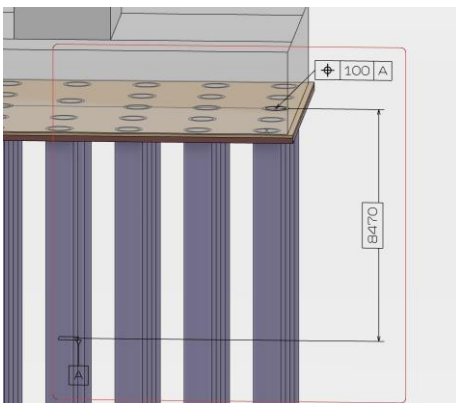
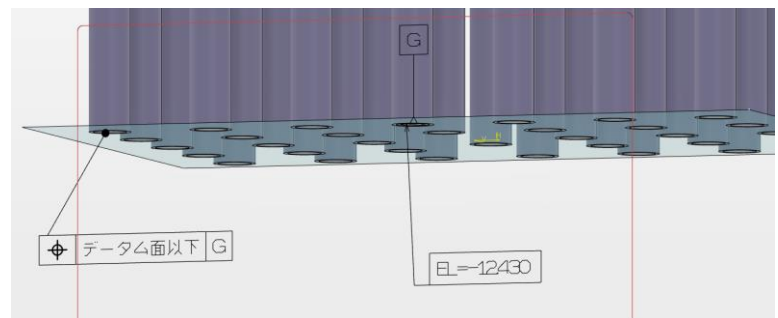
図-9 基準高 ∇ の幾何公差

図-10 根入長の幾何公差

方向)」と同様とした。

(2) 既製杭工（鋼管ソイルセメント杭）

既製杭工（鋼管ソイルセメント杭）の測定項目、規格値、測定基準、測定箇所は表-3に示す通りである。

a) 基準高 ∇

「基準高 ∇ 」は図-9に示すように位置度を適用することとし、幾何公差の適用方法は、橋梁躯体工の「基準高 ∇ 」と同様とした。

b) 根入長

「根入長」は図-10に示すように位置度を適用することとした。まず、杭の先端の基準高さである「EL=12430」の地点に仮想面を設定し、その高さを理論的に正しい基準高として四角で囲んで表示することとした。つぎに、この杭の先端の基準高さである「EL=12430」の地点の仮想面をデータムGに採り、杭の先端の面が仮想面以下であれば良いと判断した。ISO 16792では面の

要素に向かう引出線の終点は点を使用することになっているので、杭の先端の面を指し示す幾何要素の引出線は点を使用している。また、幾何公差は数値的な公差値の設定が必要ではあるが、表-3の規格値が「設計値以上」となっているため、本研究においては公差値を「データム面以下」と表記することとした。

c) 偏心量 d

「偏心量 d」は図-11に示すように位置度を適用することとした。フーチング側面のIとHからそれぞれ、四角で囲んだ理論的に正しい寸法800mmの位置において $\phi 200$ の円筒公差域の中に入らなくてはならないことを表示している。これは交差する点と、「×」で表示された杭の中心点の差異が100mm以内であれば良いと判断したためである。ISO 16792では点の要素に向かう引出線の終点は矢印を使用することになっているので、杭の中心点である「×」の地点を指し示す幾何要素の引出線は矢印を使用している。また、表-3の規格値は100mm

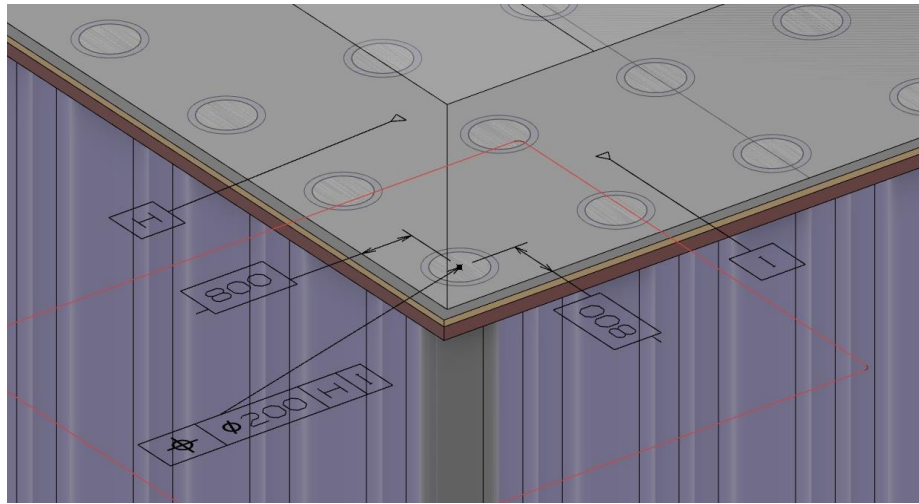


図-11 偏心量 d の幾何公差

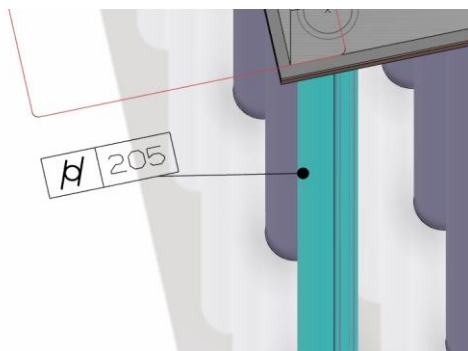


図-12 傾斜の幾何公差

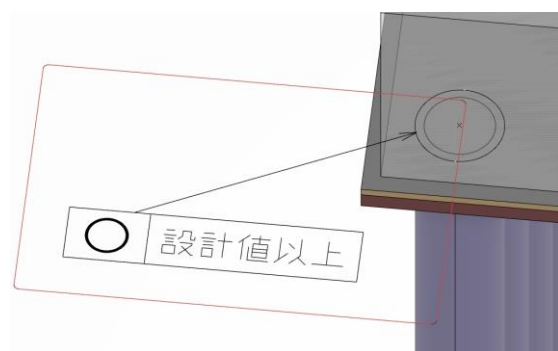


図-13 杭径 D の幾何公差

以内となっているので、公差値は200mmとした。そして、理論的に正しい位置からの離れが半径100mmまで許されるので、 $\phi 200$ と表記することとした。

偏心量については、真の位置が長さではなく点であるため、寸法公差では表現できなかったが、幾何公差の位置度で表現することができた。

d) 傾斜

「傾斜」は図-12に示すように円筒度を適用することとした。表-3の規格値が「1/100以内」となっており設計杭長が20,500mmのため、杭径よりも直径が205mm ($20,500\text{mm}/100=205\text{mm}$) 大きい円筒の中に杭の表面が収まっていれば良いと判断した。ISO 16792では面の要素に向かう引出線の終点は点を使用することになっているので、杭の表面を指し示す幾何要素の引出線は点を使用している。また、公差値は205mmとした。

e) 杭径 D

「杭径 D」は図-13に示すように真円度を適用することとした。表-3の規格値が「設計値以上」となっているので、杭上部の外円が設計値より大きければ良いと判断した。ISO 16792では線の要素に向かう引出線の終点は矢印を使用することになっているので、杭上部の外円を指し示す幾何要素の引出線は矢印を使用している。

また、幾何公差は数値的な公差値の設定が必要ではあ

るが、表-3の規格値が「設計値以上」となっているため、本研究においては公差値を「設計値以上」と表記することとした。

(3) 鉄筋工（組立て）

鉄筋工（組立て）の測定項目、規格値、測定基準、測定箇所は表-4に示す通りである。

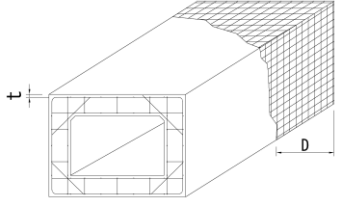
a) 平均間隔 d

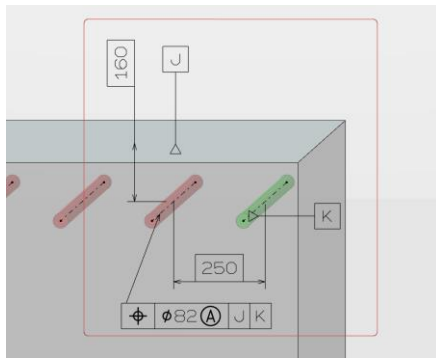
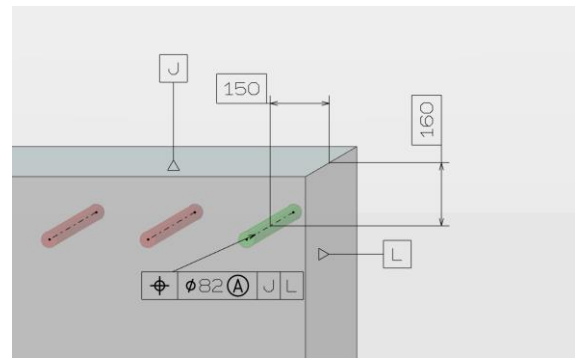
「平均間隔 d」は図-14に示すように位置度を適用することとした。1つ目のフーチング上面をデータムJに採り、四角で囲まれて表示されている理論的に正しい寸法160mmのところにある面と、2つ目の隣にある鉄筋の中心線をデータムKに採り、四角で囲まれて表示されている理論的に正しい寸法250mmのところにある面が交差する線と、鉄筋の中心線の差異が $\pm \phi$ であれば良いと判断した。ISO 16792では線の要素に向かう引出線の終点は矢印を使用することになっているので、鉄筋の中心線を指し示す幾何要素の引出線は矢印を使用している。なお、公差枠のAは中心線を意味している。また、表-4の規格値は $\pm \phi$ となっており、鉄筋はD41なので公差値を82mmとした。

b) かぶり t

「かぶり t」は図-15に示すように位置度を適用する

表-4 鉄筋工（組立て）工の出来形管理基準及び規格値³⁹⁾

工種	測定項目	規格値	測定基準	測定箇所
鉄筋工 (組立て)	平均間隔 d	$\pm \phi$	工事の規模に応じて、1リフト、1 ロット当たりに対して各面で一箇所 以上測定する。	
	かぶり t	$\pm \phi$ かつ 最小かぶり以上		

図-14 平均間隔 d の幾何公差図-15 かぶり t の幾何公差

こととした。1つ目のフーチング上面をデータムJに採り、四角で囲まれて表示されている理論的に正しい寸法160mmのところにある面と、2つ目のフーチング側面をデータムLに採り、四角で囲まれて表示されている理論的に正しい寸法150mmのところにある面が交差する線と、鉄筋の中心線の差異が $\pm \phi$ かつ最小かぶり以上であれば良いと判断した。ISO 16792では線の要素に向かう引出線の終点は矢印を使用することになっているので、鉄筋の中心線を指し示す幾何要素の引出線は矢印を使用している。なお、公差枠のⒶは中心線を意味している。また、表-4の規格値は $\pm \phi$ および最小かぶり以上となっており、鉄筋はD41なので、 $\pm \phi$ によるかぶりの最小値は109mm（150mm-41mm=109mm）となるのに対し、道路橋示方書⁴⁰⁾のフーチングの最小かぶりは70mmなので、 $\pm \phi$ の規格値を採用し、公差値を82mmとした。

6. 結論

土木構造物における3次元設計モデルにアノテーションとしての幾何公差を適用する3次元アノテティドモデルに関する既往の研究が見当たらなかったため、本研究では、ソリッド形状の橋脚の3次元設計モデルに、幾何公差を適用した3次元アノテティドモデルを作成する検討を行った。その結果、橋梁躯体工、既製杭工（鋼管ソイルセメント杭）、鉄筋工（組立て）において、土木工事施工管理基準の規格値を満たす幾何公差を適用

することができた。これにより、従来の寸法による表現に比べ、図面解釈の一義性が保証されることにより、あいまいさや解釈の違いが排除され、正確な情報伝達が行なわれるため、土木構造物の精度が向上するものと考えられる。

しかしながら、土木工事施工管理基準の規格値は、たとえば「厚さ t 」の場合、-20mm以上となっており上限が定められていない片側規格のものが多数あるが、片側規格では幾何特性を的確に指示できないため、本研究では規格値を ± 20 mmとし、公差値を40mmと設定することとしたが、今後幾何公差を導入するにあたり、土木工事施工管理基準の規格値の見直しが必要となる。

さらに、道路や鉄道などの長大構造物への適用を考えた場合、構造物の規格値の許容値よりも座標系の差異の方が大きくなることも考えられるため、今後は、曲率やジオイドを考慮した緯度・経度による位置情報の表記方法や、平面として扱っても良い範囲に対する検討が必要であると思われる。

謝辞：ダッソー・システムズ(株)の和泉弘龍氏にはシステム提供とモデル作成に協力して頂いた。また、土木学会土木情報学委員会 建設3次元情報利用研究小委員会 3D Annotated Model WGからは様々な意見を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) JIS B 0420-1 : 製品の幾何特性仕様 (GPS) 寸法の公差表示方式 第1部長さに関わるサイズ, 2016.
- 2) JIS B 0401-1 : 製品の幾何特性仕様 (GPS) 長さに関わるサイズ公差の ISO コード方式 第1部サイズ公差 サイズ差及びはめあいの基礎, 2016.
- 3) JIS B 0401-2 : 製品の幾何特性仕様 (GPS) 長さに関わるサイズ公差の ISO コード方式 第2部穴及び軸の許容差並びに基本サイズ公差クラスの表, 2016.
- 4) ISO : ISO 16792 First Edition 2006-12-15 Technical product documentation – Digital product definition data practices, 2006.
- 5) (一社) 電子情報技術産業協会 : 3DA モデルガイドライン —3DA モデル作成及び運用に関するガイドライン—, 2013.
- 6) (一社) 日本自動車工業会 : JAMA/JAPIA 3D 図面ガイドライン —3D 単独図ガイドライン—, 2009.
- 7) 国土交通省 : 3次元モデル表記基準 (案), 2018.
- 8) 城古雅典, 森脇明夫, 有賀貴志, 福士直子, 矢吹信喜 : 3次元橋脚設計モデルに寸法・基準高・寸法公差のアノテーションを付与した 3次元アノテティドモデルの提案, 土木学会論文集F3 (土木情報学), Vol.73, No.2, I_21-I_28, 2017.
- 9) 城古雅典, 森脇明夫, 宮本勝則, 福士直子, 有賀貴志, 矢吹信喜 : 橋脚の 3次元モデルに幾何公差を適用した 3次元アノテティドモデルの考察, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.44, pp.273-276, 2019.
- 10) 城古雅典, 森脇明夫, 宮本勝則, 福士直子, 有賀貴志, 矢吹信喜 : 公共事業の課題解決に対する幾何公差の適用の提案, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.74, VI-303, 2019.
- 11) The American Society of Mechanical Engineers : Digital product definition data practices, ASME Y14.41, 2019.
- 12) Davidson, J.K. and Shah, J.J. : Geometric tolerance: A new application for line geometry and screws, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, January 1, 2002.
- 13) Yanyan Wu, Jami J. Shah and Joseph K. Davidson : Computer Modeling of Geometric Variations in Mechanical Parts and Assemblies, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol.3, 2003.
- 14) Gaurav Ameta, Robert Lipman, Shawn Moylan and Paul Witherell : Investigating the Role of Geometric Dimensioning and Tolerancing in Additive Manufacturing, *Journal of Mechanical Design-Transactions of the ASME*, Vol.137, 2015.
- 15) JIS Z 8114 : 製図—製図用語, 1999.
- 16) JIS B 0021 : 製品の幾何特性仕様 (GPS) —幾何公差表示方式— 形状, 姿勢, 位置及び振れの公差表示方式, 1998.
- 17) 大西清 : JIS にもとづく標準製図法 (第13全訂版), p.83, 2016.
- 18) JIS B 0621 : 幾何偏差の定義及び表示, 1984.
- 19) 土木学会 : 土木学会附属土木図書館目録・書誌検索 <<http://library.jsce.or.jp/cgi-bin/namazu.cgi>> (入手 2017.10.11) .
- 20) 城古雅典, 森脇明夫, 宮本勝則, 有賀貴志, 矢吹信喜 : 幾何公差を適用した 3次元アノテティドモデルの提案, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.73, VI-641, 2018.
- 21) 城古雅典, 森脇明夫, 有賀貴志, 福士直子, 矢吹信喜 : 橋脚の 3次元モデルに寸法公差を適用した 3次元アノテティドモデルの考察, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.42, pp.43-46, 2017.
- 22) 城古雅典, 有賀貴志, 矢吹信喜 : 寸法公差を適用した 3次元アノテティドモデルの考察, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.72, VI-714, 2017.
- 23) 毛利和弘 : 文献調査法 調査・レポート・論文作成必携 (情報リテラシー読本), pp.77-80, 日本図書協会, 2010.7.
- 24) 国立国会図書館雑誌記事索引 : <http://www2.chuo-u.ac.jp/library/db_ndlopa.htm> (入手 2017.12.27) .
- 25) CiNii : <<http://ci.nii.ac.jp/>> (入手 2017.12.27) .
- 26) J-STAGE : <<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/-char/ja>> (入手 2017.12.27) .
- 27) 木下悟志 : 幾何公差と計測技術 : 3次元計測が幾何公差の普及の鍵を握る, 機械設計, Vol.59 (5), pp.42-44, 2015.5.
- 28) 神戸一行 : Variation Analysis による設計段階での製品品質の検証 幾何公差を用いた 3次元公差解析のすすめ, 機械設計, Vol.56 (4), pp.46-50, 2012.4.
- 29) 島田宏美 : 自動車業界における 3次元データの幾何公差標準化の取り組み, 機械設計, Vol.56 (4), pp.36-39, 2012.4.
- 30) 小池忠男 : 電機・精密業界における 3次元データの幾何公差標準化の取り組み 幾何公差を盛り込んだ JEITA の"3DAM", 機械設計, Vol.56 (4), pp.30-35, 2012.4.
- 31) 山田哲治, 岡田充 : 幾何公差と 3次元公差解析, いすゞ技報, Vol.119, pp.72-75, 2008.6.
- 32) 高増潔 : GPS(4)GPS(製品の幾何特性仕様)に基づいた検証方法 幾何公差の解釈と三次元測定機の不確かさ評価, 設計工学, Vol.40 (2), pp.79-85, 2005.2.
- 33) 川口裕貴 : 主要記事 1 続・はじめての 3次元公差解析 幾何公差と公差解析の導入による経済効果, 機械設計, Vol.45 (13), pp.36-45, 2001.9.
- 34) 高増潔 : 図面どおり三次元をつくれるか? 幾何公差とメトロロジー, 日本機械学会誌, Vol.118 (1164), pp.656-659, 2015.11.
- 35) 大林 利一 : ベーシック幾何公差(第2回)3平面データ系と幾何特性記号, 日経ものづくり, Vol.632, pp.152-157, 2007.5.
- 36) 日経 BP 社 : PICK UP DIGITAL with Tech-On! 「設計力向上」 3次元スキャナ活用の基礎知識 実物の表面形状を点群で表現 寸法だけでなく幾何形状を評価可能に, 日経ものづくり, Vol.697, pp.79-81, 2012.10.
- 37) 岩崎匠史, 金井理, 伊達宏昭, 渡辺正浩, 谷口敦史 : 3次元幾何公差検証のための計測点群への形体フィッティングアルゴリズムライブラリの提案, 精密工学学会学術講演会講演論文集, Vol.2014S (0), pp.797-798, 2014.
- 38) 塚田忠夫 : W02(3) 表面性状規格の適用の仕方

- (【W02】新しい設計図の幾何公差仕様-ISO/GPS 規格), 日本機械学会年次大会講演資料集, Vol.2007.8 (0), pp.285-286, 2007.
- 39) 国土交通省: i-Construction ～建設現場の生産性向上の取り組みについて～, 2015.12.
- 40) 国土交通省関東地方整備局: 土木工事施工管理基準及び規格値(平成29年4月改定) <http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000671113.pdf> (入手2017.10.4) .
- 41) 城古雅典, 森脇明夫, 有賀貴志, 宮本勝則, 矢吹信喜: 自動車産業における3次元アノテティドモデルに対する調査と橋脚設計モデルへのアノテーションの実装と検証, 土木学会論文集F3(土木情報学), Vol.73, No.2, I_12-I_20, 2017.
- 42) ISO: ISO 16792 Second Edition 2015-12-01 Technical product documentation – Digital product definition data practices, 2015.
- 43) 既存 JIS を基にした 3DA モデル製図検証結果レポート: <http://www.jama.or.jp/cgi-bin/it/download_01.cgi> (入手2017.10.4) .
- 44) 日本道路協会: 道路橋示方書(IV下部構造編)・同解説, p.71, 2017.11.

(Received September 30, 2019)

PROPOSAL OF 3D ANNOTATED MODEL ON BRIDGE DESIGN MODELS INCLUDING GEOMETRIC TOLERANCE

Masanori JOKO, Akio MORIWAKI, Katsunori MIYAMOTO, Takashi ARUGA, Naoko FUKUSHI and Nobuyoshi YABUKI

The setting of tolerances for geometric characteristics of 3D models can be more accurately described by using geometric tolerance focusing on the geometric characteristics, rather than dimensional tolerance focusing on dimensions.

In this research, we consider to apply geometric tolerance annotations to 3D design models of the piers, we realized that we could apply geometric tolerance and meet the criteria of civil engineering construction management standard. The reviewed items are bridge framework, prefabricated pile work (steel pipe soil cement pile), reinforcement work (assembly). The new methods make possible to improve precision of civil engineering structures as accurate information is transmitted. It is eliminated ambiguity and misinterpretation compared with representation by conventional dimensions.