

# 幾何公差の3次元での適用に関する文献調査と 公共事業の課題解決に対する提案

城古 雅典<sup>1</sup>・森脇 明夫<sup>2</sup>・宮本 勝則<sup>3</sup>・福士 直子<sup>4</sup>・矢吹 信喜<sup>5</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>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

<sup>4</sup>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

<sup>5</sup>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

公共事業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。一方、製造業の図面には、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いる。3次元モデルを作成する3次元CAD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、広く幾何公差の3次元での適用に関する文献調査を行い、幾何公差を導入したことによる効果、課題、変革を抽出、分析し、次に、公共事業の課題を国土交通省の施策から抽出、分析し、最後にブレインストーミングを行って、公共事業の課題に対し、3次元情報技術と幾何公差を適用することにより課題解決できる事象を考察することとした。

**Key Words :** *geometric tolerance, 3D annotated model, issues in public construction*

## 1. はじめに

公共事業では、少子高齢化、生産性の低迷、インフラの老朽化等の課題を抱えており、国土交通省が推進するBIM/CIMやi-Constructionでは、3次元モデルの導入により課題解決を目指している。3次元モデルの表記については、国土交通省が平成30年3月に3次元モデル表記標準(案)<sup>1)</sup>を制定し、道路土工、河川土工、橋梁構造物の3DAモデル(3D Annotated Model)を作成・表示する際の表記方法を示した。なお、3DAモデルとは、3次元CADを用いて作成した3次元形状を表す形状モデルに、標準で規定する構造特性(寸法・注記・数量等)とモデル管理情報とを加えて作成したデジタル情報のことをいう。

一方、他分野の3DAモデルに目を向けるとJEITA

(Japan Electronics and Information Technology Industries Association: 一般社団法人電子情報技術産業協会)やJAMA (Japan Automobile Manufacturers Association: 一般社団法人日本自動車工業会)は、平成18年に制定されたISO16792<sup>2)</sup>(Technical product documentation -Digital product definition data practices)に対し、ISO16792は英語表記であることと、図等が一般的な形状で記載されているため、業界毎にISO16792の表記を自部門の部品等に適用した3DAガイドライン<sup>3) 4)</sup>を制定した。

ISO16792や業界毎の3DAガイドラインでは形体は幾何公差を使用して規定している。製造業では寸法公差や幾何公差を用いて形体を規定するのにに対し、公共事業では寸法と出来形基準で形体を規定しているが、著者ら<sup>5)</sup>が、寸法と出来形基準を寸法公差で規定する先行研究を行っ

た際、寸法公差より幾何公差の方が形体を規定するのに適している事例も見受けられた。

本研究では、JEITAやJAMAと公共事業の関連性については福士<sup>6)</sup>らの研究があるため、広く幾何公差の3次元での適用に関する文献調査を行い、幾何公差を導入したことによる、効果、課題、変革を抽出、分析し、次に、公共事業の課題を国土交通省の施策から抽出、分析し、最後にブレインストーミングを行って、公共事業の課題に対し、3次元情報技術と幾何公差を適用することにより課題解決できる事象を考察することとした。

## 2. 幾何公差

欧米では幾何公差はGeometric dimensioning and tolerancing (幾何学的寸法と公差) といひ、ASME Y14.5 Dimensioning and Tolerancing<sup>7)</sup> 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<sup>8)</sup> 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<sup>9)</sup> 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) 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<sup>10)</sup> など様々な事例がある。

JIS Z 8114<sup>11)</sup> 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もなっていて、きわめて高度化、精密化され、性能も格段に向上したも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、面とか線とかの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ひ、JIS B 0021 (製品の幾何特性仕様)<sup>12)</sup> に、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<sup>13)</sup>。

## 3. 幾何公差の3次元での適用に関する調査と分析

### (1) 幾何公差の3次元での適用に関する調査

既往の研究について、まず、土木分野に関するものを調査することとした。調査の方法としては、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<sup>14)</sup> 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、2件<sup>15)</sup> <sup>16)</sup> 抽出されたが、これらは著者らの先行研究であり、寸法公差に対する研究を行ったものである。

つぎに、土木分野以外のものも含めた調査を行うこととした。調査の方法としては、文献調査法<sup>17)</sup> を参考にして、国立国会図書館雑誌記事索引のNDL-OPAC<sup>18)</sup>、国立情報学研究所のCiNii<sup>19)</sup>、科学技術振興機構のJ-STAGE<sup>20)</sup>による既往の研究の検索を行うこととした。キーワードを幾何公差で検索したところ、NDL-OPACでは96件、CiNiiでは100件、J-STAGEでは185件抽出された。そこで、本研究は、幾何公差の「3次元」での適用に着目しているため、キーワードを「幾何公差 and 3次元」、「幾何公差 and 三次元」、「幾何公差 and 3D」としたところ、NDL-OPACでは、「幾何公差 and 3次元」7件<sup>21)</sup> <sup>22)</sup> <sup>23)</sup> <sup>24)</sup> <sup>25)</sup> <sup>26)</sup> <sup>27)</sup>、「幾何公差 and 三次元」2件<sup>26)</sup> <sup>28)</sup>、「幾何公差 and 3D」1件<sup>29)</sup>。CiNiiでは、「幾何公差 and 3次元」8件<sup>21)</sup> <sup>22)</sup> <sup>23)</sup> <sup>24)</sup> <sup>25)</sup> <sup>27)</sup> <sup>30)</sup> <sup>31)</sup>、「幾何公差 and 三次元」2件<sup>26)</sup> <sup>28)</sup>、「幾何公差 and 3D」2件<sup>29)</sup> <sup>31)</sup>。J-STAGEでは、「幾何公差 and 3次元」1件<sup>31)</sup>、「幾何公差 and 三次元」1件<sup>28)</sup>、「幾何公差 and 3D」2件<sup>31)</sup> <sup>32)</sup> となった。また、「3」、「3D」を全角の「3」、「3 D」で再度検索したところ、抽出結果には変わりはない。なお、検索結果は平成29年12月27日現在のものである。

### (2) 調査結果の分類

NDL-OPACの検索結果10件、CiNii12件、J-STAGE4件の検索結果の内、重複を排除した12件<sup>21)</sup> ~<sup>32)</sup> を調査対象として幾何公差の3次元での適用に対する調査を行うこととした。

調査は幾何公差導入による効果、課題、変革をキーワードとして、業務プロセスのフェーズ毎に論文等に示されている事象を集計するものとした。本論文では、効果を「従来の生産方法に対して幾何公差を導入したことにより改善や向上が見られたもの」、課題を「期待した改善や向上が見られなかったもの」、変革を「従来の生産方法そのものを変更したもの」と定義した。着目点に変革を含むのは、3次元化に伴って変革が促されるとの指摘<sup>33)</sup> があるためである。なお、業務プロセスにおけるフェーズは、公共工事の施工フェーズではなく、一般的な製造フェーズである経営工学総論<sup>34)</sup>に示されている経営工学的視点に基づいて、経営戦略、技術戦略、組織構造、経営情報システム、財務諸表と総合的管理、マーケティングと製品開発、工場計画と生産準備、生産管理および品質管理に分類することとした。

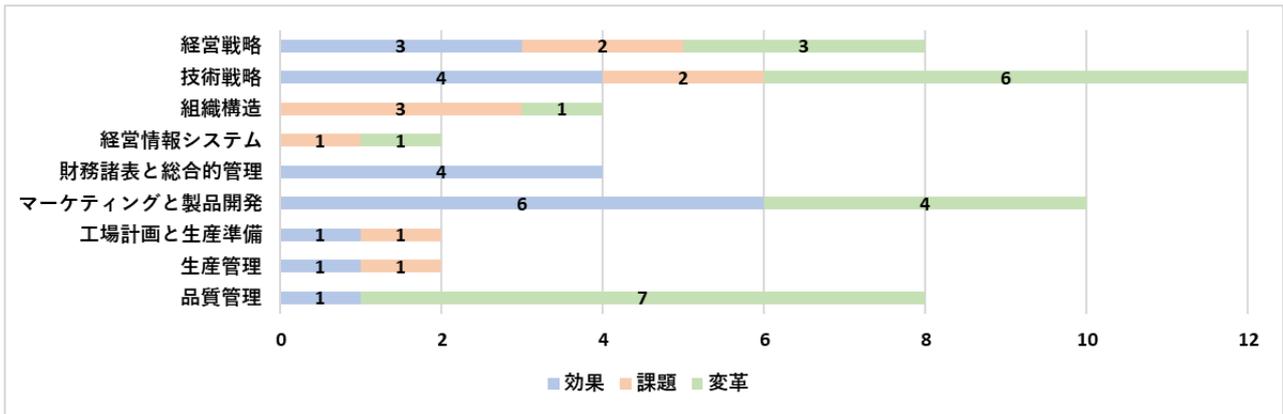


図-1 抽出した事象の集計結果

**(3) 事象の集計結果**

事象の集計結果を図-1に示す。3次元情報技術の導入に関して抽出した事象は52あり、その内訳は効果は20、課題は10、変革は22であった。

業務プロセスで見ると上位3つが「技術戦略：12事象」、「マーケティングと製品開発：10事象」、「経営戦略：8事象」と「品質管理：8事象」であった。一方、下位3つは「経営情報システム：2事象」、「工場計画と生産準備：2事象」、「生産管理：2事象」であった。

**(4) 分析方法**

本章では、幾何公差の3次元化に対する業務プロセスの各フェーズにおける効果、課題、変革に関する詳細を分析する。前章の調査結果から得られた分析に用いる事象を表-1、表-2に示す。

分析は、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の分科会である、3D Annotated Model WGのメンバーでブレインストーミングを行った。なお、WGの委員は大学、一般財団法人、建設会社、コンサルタント会社、測量会社、ソフトウェア会社から参画している。

次節の文中で用いる括弧は、表-1、表-2に示す各フェーズの効果、課題、変革の番号を示している。

**(5) 分析**

**a) 経営戦略**

このフェーズでの効果については、グローバルなものづくりを推進する際、幾何公差の適用により、あいまいさが排除されるので、解釈の一義性を保つことができる(効果①②③)。そして、世界中どこでも一義的に解釈されるため、設計内、設計と製造・検査間、あるいは設計と部品調達等で、正確な情報伝達、情報交換が可能となる(効果①)、といったことが挙げられる。

課題については、幾何公差の表記を広めるためには、業界ごとの規格を基に一般的な規格に展開する必要がある

(課題①)、欧米では幾何公差を適用した図面作りが進んでいるが、日本がそれに遅れた格好になっている(課題②)といったことが挙げられる。

変革については、グローバルに部品調達していかねばならない企業にとっては、あいまいさを含んだ寸法公差中心の図面と従来からの諸々の取り決めだけで製造する方法から、幾何公差を必須とした製造方法に変革する必要がある(変革①②③)、といったことが挙げられる。

**b) 技術戦略**

このフェーズでの効果については、公差域の適正化(効果①)、設計効率の向上(効果②)、「解釈の違い」の排除(効果③)、公差域の拡大(効果④)、といったことが挙げられる。

課題については、幾何公差の様式は一部の会社と領域に留まっていたり(課題①)、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(課題②)といったことが挙げられる。

変革については、3次元モデルへの幾何公差の適用(変革①)、最大実体公差方式の適用による不良品の減少(変革②③)、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(変革④⑤⑥)、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、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(変革⑥)、といったことが挙げられる。

**c) 組織構造**

このフェーズでの課題については、日本で曖昧な要素が多い寸法公差を用いたモノづくりが行なわれる背景には、製造現場での「図面を受け取る側の勘や経験による職人的な技術」に支えられた熟練技術者たちによる品質の作り込みや、同一企業内や国内のアッセンブリーメーカーと部品メーカー間での設計・製造との密な協業連携といったモノづくりが行われており、それゆえに、困ったことのない設計者には幾何公差の必要性は感じていない(課題①②)ことや、設計者と製造者で幾何公差指示

表-1 抽出された事象の整理結果 (その1)

フェーズ	効果 課題 変革	資料 番号	抽出された事象	
経営戦略	効果	①	幾何公差は、対象物（部品）の幾何特性について、その定義、指示方法が明確に決まっているので、これに基づいて指示すれば世界中どこでも一義的に解釈される。そのため、設計内、設計と製造・検査間、あるいは設計と部品調達等で、正確な情報伝達、情報交換が可能となる <sup>26)</sup> 。	
		②	幾何公差は解釈のあいまいさを排除するだけでなく、製造コストの低減にも寄与することができる。グローバルなものづくりを推進する鍵は幾何公差にあるといっても過言ではない <sup>26)</sup> 。	
		③	国家間で（国際的に）解釈の一義性（あいまい性の排除）が保てる <sup>26)</sup> 。	
	課題	①	3次元モデルへ幾何公差を含めたアノテーションの表記を広めるためには、業界ごとの規格を基に一般的な規格にする展開が必要である <sup>26)</sup> 。	
		②	欧米では、幾何公差方式であいまいさを排除した図面作りが進んでおり、日本がそれに遅れをとった格好になっている <sup>26)</sup> 。	
	変革	①	受発注がグローバル化される中で幾何公差が必須ツールとなることは必然である。発注側の設計データ、受注側の検査データ、双方を正確に照合するために共通言語が必要で、それがまさに幾何公差による設計データであり、ワーク全体を面測定する3次元計測技術による点群データである <sup>26)</sup> 。	
		②	グローバルに部品調達していかなければならない企業にとっては、寸法公差中心の図面と従来からの諸々の取り決めだけで製造する方法ではやっていけなくなっている <sup>26)</sup> 。	
		③	グローバル化した生産システムでは、幾何特性仕様が正しく理解できることが必要不可欠である <sup>26)</sup> 。	
	技術戦略	効果	①	寸法公差では要求に対し公差域が過剰だったり不足だったりして適正ではない場合があるのに対し、幾何公差によれば、まったく意図通りに指定できる <sup>26)</sup> 。
②			幾何公差はグローバルなものづくりだけではなく、大幅な設計効率の向上に寄与できる <sup>26)</sup> 。	
③			幾何公差を指示することによって、「解釈による違い」を完全に排除できる <sup>26)</sup> 。	
④			寸法公差を幾何公差に置き換えることで公差域が拡大するという例もある <sup>26)</sup> 。	
課題		①	3次元モデルへ幾何公差も含むアノテーションを表記する3D単独図の様式は一部の会社と領域に留まっている <sup>26)</sup> 。	
		②	幾何公差は検証の省力化に貢献するが、設計が製造と検査を理解した上で使わないと、全く意味をなさない <sup>26)</sup> 。	
変革		①	3次元モデルから作った製品の形状を高効率、高精度で評価できるようにするためには、3次元モデルへ幾何公差を表記し利用することが不可欠になってきている <sup>26)</sup> 。	
		②	最大実体公差方式とは、寸法公差と幾何公差との相互依存関係によって、機能を損なわずして図示した幾何公差に追加公差を与える方式である。最大実体公差方式を適用することにより、公差域が増えるため、不良品と判定される部品の数が少なくなる <sup>26)</sup> 。	
		③	最大実体公差方式とは、寸法公差と幾何公差を関連づけて規制する公差方式である。最大実体公差方式を使用した場合、合格する範囲が拡大するため、不合格部品を減らし製造コストを下げることができる <sup>26)</sup> 。	
		④	単独形体の幾何公差は、加工方法および加工条件によって、幾何公差が決まることが多い。そこで、加工方法を決めれば、幾何公差への対応が決まることになる。適切な加工条件を決めて管理することができれば、検査を減らすことができる <sup>26)</sup> 。	
		⑤	関連形体の幾何公差である輪郭度、姿勢公差、位置公差および振れは、データムが定義に必要となる。データムとの関係で姿勢および位置が決まる。加工する場合には、データムとなる形状を基準として、加工することになる。加工の段取りの決め方が重要となり、検査においても基準の取り方が重要となる <sup>26)</sup> 。 (なお、データムとは加工や寸法測定をする場合に基準とする面または線・点のことである。)	
		⑥	近年では特定の点間距離（寸法公差）だけでなく、幾何学的な形状（幾何公差）による品質保証が求められることが増えている。その実現には、①設計者が製品上の必要個所に適切な幾何公差情報（公差種類と公差値）を指定できること、②計測点群と幾何公差情報に基づき公差の可否判定（検証）が行えること、といった2つの機能が重要となる <sup>26)</sup> 。	
組織構造		課題	①	曖昧な要素が多い寸法公差を用いた図面が日本で成り立つ背景には、製造現場での「図面を受け取る側の勘や経験による職人的な技術」に支えられた熟練技術者たちによる品質の作り込みや、同一企業内や国内のアッセンブリーメーカーと部品メーカー間での設計・製造との密な協業連携といった日本のモノづくりがあるからだ。それゆえに、困ったことのない設計者には幾何公差の必要性は感じないのかもしれない <sup>26)</sup> 。
			②	製造工場が自社内や国内にある企業では、優秀な生産技術者がいることで、寸法公差中心の図面と従来からの諸々の取り決めだけで、設計の意図通りの部品が製造できてきた <sup>26)</sup> 。
			③	問題なのは、暗黙の幾何公差指示の理解が、設計者と製造者で異なっている場合である。この場合は、幾何公差の指示がなければ、正しい幾何特性を持つ製品が製造できない <sup>26)</sup> 。
	変革	①	公差問題に対しては、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解決に取り組む姿勢が必要である <sup>26)</sup> 。	

表-2 抽出された事象の整理結果 (その2)

フェーズ	効果 課題 変革	資料 番号	抽出された事象
経営情報システム	課題	①	既存の3次元CADではJIS B0021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 <sup>29)</sup> 。
	変革	①	多くの曲面と複雑な形状がモデリングできる3次元CADでは特に、3次元モデルの幾何特性について、その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大切になる。その点からも、3次元図面における幾何公差指示の必要性や重要性は高まっている <sup>29)</sup> 。
財務諸表と総合的管理	効果	①	幾何公差方式は、形状・姿勢・位置を正確に定義できるだけではなく、製造・測定のコスト削減ももたらし、さらに3次元公差解析の解析精度を向上させることができる。これにより大きな経済効果をあげることができる <sup>27)</sup> 。
		②	「幾何公差を指示すれば製造コストおよび計測コストが上がる」と考えられていた。しかし、製品が目的の機能を持つように製造できている場合には、正しい幾何公差で製品が製造されていることになるので、従来行われた製造方法に対応した幾何公差を、図面に指示すればよい。その場合、幾何公差の指示が増えたとしても、従来と何も変わらずコストは上がることはない <sup>28)</sup> 。
		③	不必要に高精度につくられていた部品には、正しい幾何公差の指示により、安く作ることができる <sup>29)</sup> 。
		④	適切な方法で幾何公差を計測、検査すれば、検査によりコストに大きな影響を与えることはない <sup>29)</sup> 。
マーケティングと製品開発	効果	①	正確な形状、姿勢、位置からの偏差を規制することで、部品の持つ機能を正確に表現できる <sup>29)</sup> 。
		②	国際規格準拠にてグローバルでの図面解釈の一義性を保証できる <sup>29)</sup> 。
		③	幾何公差は、位置公差から姿勢公差、さらに形状公差に向けて規制を厳しくすることができ、その位置にどんな姿勢でどんな形状のものが存在するのかを表すことができる <sup>29)</sup> 。
		④	幾何公差を用いれば、設計者は対象物の幾何特性を的確に指示できる <sup>29)</sup> 。
		⑤	幾何公差では、2次元的な領域と3次元的な領域を含めて数多くの公差域が定義されていて、設計要求を満足することができる <sup>29)</sup> 。
		⑥	幾何公差は、その公差域が寸法公差に比べて数多く用意されているので、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 <sup>29)</sup> 。
	変革	①	2次元の紙図面の削減が必須である。それを実現する有効な手段が3DAモデルである <sup>29)</sup> 。
		②	3次元モデルに表記された幾何公差が、部品を組み立てる際の累積公差のCAE解析に用いることができる。(CAEとは、Computer Aided Engineeringの略で、コンピュータを活用した解析・設計統合の概念である。)
		③	設計者の意図をどこの誰にでも正確に伝えるには、国際性を保持し表現上の一義性を持つことが可能な、幾何公差主体の図面に変える必要があった <sup>29)</sup> 。
		④	図面の公差情報は解析結果に影響を及ぼす <sup>29)</sup> 。
工場計画と生産準備	効果	①	公差指示のあいまいさに起因した不具合の発生は減少し、早期の品質確保に貢献できた <sup>29)</sup> 。
	課題	①	規定の部品を使っているのに、組み立ての順番を間違えたばかりに、部品がうまく取り付けられない。これは、組み付け順序が公差に影響を与えているからだ。こうした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のが「データ系」、優先順位をつけた二つ以上のデータ系を組み合わせで用いるデータ系のグループのことで、その設定には十分な注意が必要となる <sup>29)</sup> 。
生産管理	効果	①	公差指示のあいまいさに起因した不具合の発生は減少し、早期の品質確保に貢献できた <sup>29)</sup> 。
	課題	①	図面の中に指示される幾何公差は形状や姿勢の公差のほんの一部でしかなく、それ以上に幾何公差を適用する必要がなかった。なぜなら、同じ場所で、同じ人間が、同じ機械を使って部品を使って部品を造っている環境では生産部門とのすり合わせで品質を確保できるからである <sup>29)</sup> 。
品質管理	効果	①	いつ、どこで、だれが行っても検証結果が同じである <sup>29)</sup> 。
		①	製品形状の精度を評価するための3次元計測に利用できる <sup>29)</sup> 。
		②	幾何公差は、その指示に対する検証(検査)方法が決まっているので、製作された部品に対する合否判定が明確であり測定する人による差が出ない。そのため人間が介在しない合否自動判定(システム)が可能となる <sup>29)</sup> 。
		③	部品の機能を確保するためには、寸法が重要である。しかし、部品が高精度になってくると寸法だけで機能を確保することはできない。特に、位置決めなどの指定の不完全さ、基準をどこに取るかが不明確であること、寸法公差と形状の関係が不明確であることなどが問題となり、幾何公差の必要性が重要となってきた <sup>29)</sup> 。
		④	幾何公差は検証方法の簡素化にも大きく貢献する <sup>29)</sup> 。
		⑤	最大実体公差方式を使用するメリットは、「機能ゲージで検証が簡単にできる」ということである。3次元測定機による検査にくらべ機能ゲージによる検査は、測定時間・設備導入コスト・作業者育成期間の全てにおいて、大幅なコスト減に貢献する <sup>29)</sup> 。
		⑥	検査に機能ゲージなどを使うことで、より生産の効率化を図ることが可能になる <sup>29)</sup> 。
⑦	レーザスキャン技術の発達により、製品表面の高密度3次元計測点群を活用し、JIS等の標準に則った幾何公差の3次元的管理を高精度に行える可能性が高まっている <sup>30)</sup> 。		

の理解が異なった場合(課題③), といったことが挙げられる。

変革については, 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ような組織構造の変革(変革①), といったことが挙げられる。

#### d) 経営情報システム

このフェーズでは, 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(課題①), といった課題があり, 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の確に表現する(変革①), といった変革の必要性が示されている。

#### e) 財務諸表と総合的管理

このフェーズでは, 幾何公差は製造・検査のコスト削減(効果①②④)をもたらし, 3次元公差解析の解析精度を向上させることにより, 大きな経済効果をあげることができる(効果①), 不必要に高精度につくられていた部品には, 正しい幾何公差の指示により, 安く作ることができる(効果③), といった効果が示されている。

#### f) マーケティングと製品開発

このフェーズでは, 設計者は対象物の幾何特性を的確に指示できる(効果①③④)ことにより, 図面解釈の一義性が保証(効果②)でき, 公差域が数多く用意されているので, 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(効果⑤⑥), といった効果が示され, 2次元図面の削減と3DAモデル導入(変革①③), 解析との連携(変革②④), といった変革が示されている。

#### g) 工場計画と生産準備

このフェーズでは, 加工方法・測定方法を暗示できる(効果①)という効果はあるが, 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(課題①), といった課題が示されている。

#### h) 生産管理

このフェーズでは, 公差指示のあいまいさに起因した不具合の発生は減少し, 早期の品質確保に貢献できた(効果①)といった効果が示されたが, 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は生産部門とのすり合わせで品質を確保できる(課題①), といった課題も示された。

#### i) 品質管理

このフェーズでは, いつ, どこで, だれが行っても検証結果が同じである(効果①)といった効果が示され, 3次元計測(変革①⑦), 人間が介在しない可否自動判定(変革②), 寸法の検査から位置決めや基準を明確にした検査へ(変革③), 検証方法の簡素化(変革④),

機能ゲージを使った検査(変革⑤⑥), といった変革が示されている。

### (6) まとめ

前節ではフェーズごとの幾何公差の3次元での適用に対する, 効果, 課題, 変革について分析した。そして, 幾何公差の全体像を知るために, フェーズごとの分析結果のキーワードをK J法を用いて整理した結果を以下に示す。

なお図-2はK J法により, キーワードがグローバルなものづくりに集約された事例を示したものである。抽出されたキーワードのカード(白抜き)の四角: グローバルなものづくり, 欧米では幾何公差を利用した図面作りが進んでいる等)を関連性のあるものにグループ化して表札(網掛け)の四角: グローバルなものづくり等)を付け, 表札をつけたグループ間の関連内容を記号(—: 関係あり, —>: 原因・結果, <—>: 互いに因果的, >—<: 互いに反対・対立)を使って示している。

- ・ 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り, 関係者のニーズが低く, 困ったことのない設計者には幾何公差の必要性は感じられていない。
- ・ 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, 設計効率が向上し, 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による減少によっても, 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

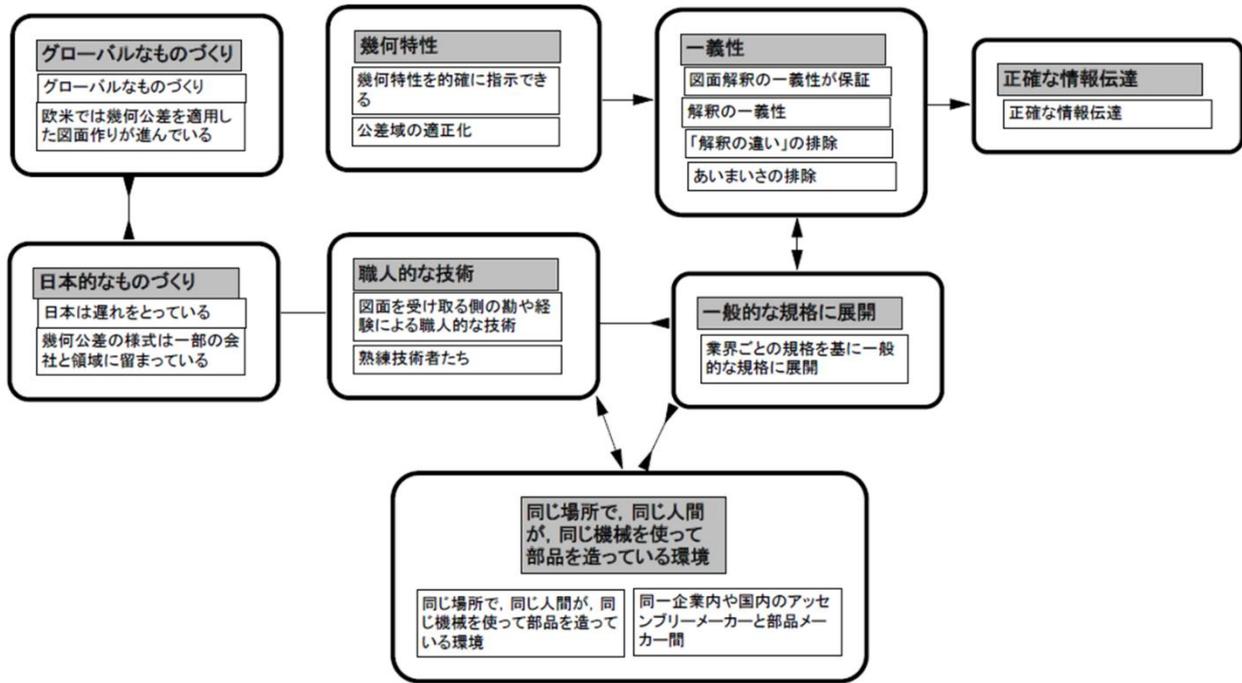


図2 フェーズごとのキーワードの整理結果 (グローバルなものづくり)

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、公差の設定は幾何公差を用いてよりの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. 公共事業の課題の抽出と評価

##### (1) 公共事業の課題の抽出

幾何公差の公共事業の課題抽出については、最近の国土交通省の施策を調査し、公共事業の課題として取り上げられたキーワードを抽出、整理を行い評価した。

##### (2) 国土交通省の施策と公共事業の課題のキーワード

最近の国土交通省の施策の調査対象は、CIM<sup>35)</sup> (平成24年4月), 国土のグランドデザイン2050<sup>36)</sup> (平成26年7月), i-Construction<sup>37)</sup> (平成27年11月), 働き方改革<sup>38)</sup> (平成29年3月), 第4期国土交通省技術基本計画<sup>39)</sup> (平成29年3月), 平成28年度国土交通白書<sup>40)</sup> (平成29年7月)とし、公共事業の課題として取り上げられたキーワードを以下に示す。

###### a) CIM

CIMでは公共事業の課題として、「少子高齢化」, 「技術の伝承」, 「復興事業」, 「防災・減災対策」, 「維持管理」, 「施設の更新」がキーワードとして取り上げられていた。

###### b) 国土のグランドデザイン2050

国土のグランドデザイン2050では公共事業の課題として、「急激な人口減少」, 「少子化」, 「異次元の高齢化の進展」, 「都市間競争の激化などグローバル化の進展」, 「巨大災害の切迫」, 「インフラの老朽化」, 「食糧・水・エネルギーの制約」, 「地球環境問題」, 「ICTの劇的な進歩など技術革新の進展」がキー

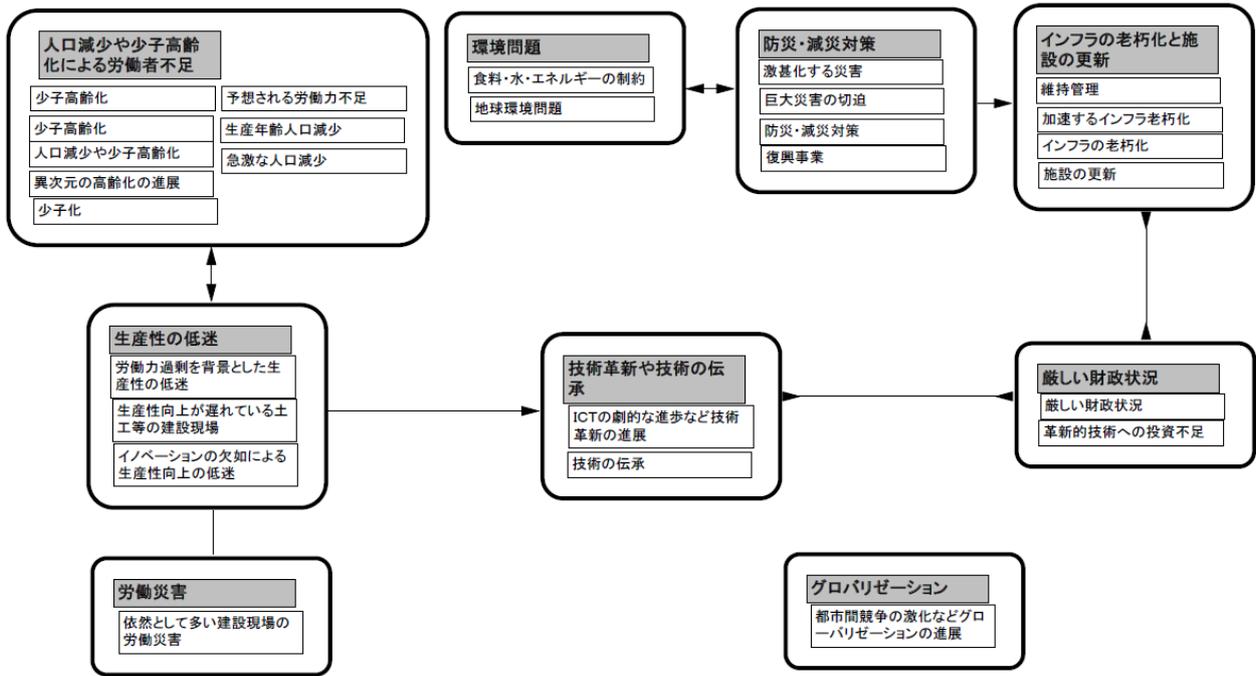


図-3 公共事業の課題の整理

ワードとして取り上げられていた。

c) i-Construction

i-Constructionでは公共事業の課題として、「労働力過剰を背景とした生産性の低迷」、「生産性向上が遅れている土工等の建設現場」、「依然として多い建設現場の労働災害」、「予想される労働力不足」がキーワードとして取り上げられていた。

d) 働き方改革

働き方改革では公共事業の課題として、「少子高齢化」、「生産年齢人口減少」、「イノベーションの欠如による生産性向上の低迷」、「革新的技術への投資不足」がキーワードとして取り上げられていた。

e) 第4期国土交通省技術基本計画

第4期国土交通省技術基本計画では公共事業の課題として、「科学技術の大きな変革」、「加速するインフラ老朽化」、「切迫する巨大地震、激甚化する気象災害」、「少子高齢化社会、人口減少」、「地方の疲弊、厳しい財政状況」、「激化する国際競争」、「大規模災害からの復旧・復興」、「地球規模課題への対応」、「技術への信頼」がキーワードとして取り上げられていた。

f) 平成28年度国土交通白書

平成28年度国土交通白書では公共事業の課題として、「人口減少や少子高齢化」、「激甚化する災害」、「加速するインフラ老朽化」、「厳しい税制状況」がキーワードとして取り上げられていた。

(3) 公共事業の課題の整理と評価

それぞれの施策で取り上げられたキーワードをK J法を使って整理した結果を図-3に示す。そしてキーワードを集約したグループの表札として、「人口減少や少子高齢化による労働者不足」、「環境問題」、「防災・減災対策」、「インフラの老朽化と施設の更新」、「生産性の低迷」、「技術革新や技術の伝承」、「厳しい財政状況」、「労働災害」、「グローバル化」が抽出された。

抽出されたグループの評価方法としては、すべてのグループのうちどれが重要と思うか、各自最高5点から1点の順で点数をつけ（6点目以降は点数をつけない）、総得点が高い方から5つのグループを重点課題とし、幾何公差の適用に対する考察を行うこととした。

評価者は土木学会 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の委員が行うこととした。

評価を平成30年5月2日に開催したWGの参加者9名で行った結果、1位「人口減少や少子高齢化による労働者不足：29点」、2位「インフラの老朽化と施設の更新：25点」、「生産性の低迷：25点」、4位「技術革新や技術の伝承：17点」、5位「防災・減災対策：13点」が重点課題となった。また6位以下は、6位「労働災害：11点」、7位「環境問題：10点」、8位「厳しい財政状況：3点」、9位「グローバル化：2点」であった。

## 5. 公共事業の課題と幾何公差の適用

4章3節で抽出された上位5つの重点課題に対し、3章6節の文献調査結果を参考にして、公共事業の課題に対し、3次元情報技術と幾何公差を適用することにより課題解決できる事象をブレーストーミングにより考察することとした。

### (1) 人口減少や少子高齢化による労働者不足

人口減少や少子高齢化による労働者不足については、労働者不足とエンジニア不足に分けて考察することとした。

#### a) 労働者不足

ブレーストーミングの結果、労働者不足の対策として、外国人の活用と機械化について考察することとした。

外国人の活用については、分業でのものづくりにおいて、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3DA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14種類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。

機械化については、i-Constructionの目指すところでもあり、機械化による人員削除と生産性の向上を実現するための手段として幾何公差の適用は有効と考えられる。

機械化においては、あいまいさや解釈の違いのない、正確な情報伝達が必要であるが幾何公差を使うことにより正確な情報伝達が可能であることに加え、加工方法・測定方法を暗示できることや、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ことも有用であると考えられる。

#### b) エンジニア不足

ブレーストーミングの結果、エンジニア不足の対策としては、教育制度、性能発注、魅力ある公共事業について考察することとした。

##### 【教育制度】

- ・ エンジニア（土木技術者）の重要な使命は社会インフラの整備であり、調査・計画・設計・施工・運

用・廃棄のライフサイクルを理解することが重要である。

- ・ しかしながら現状の教育は、構造、土質、コンクリートなどの基礎的学習が中心であり、マネジメントに関する学習にはあまり時間がかけられていない。そこで、頭の中で考えなくても見た瞬間に分かる3次元と幾何公差を前提としたカリキュラムの見直しを提案する。
- ・ 3次元と幾何公差を組み合わせることにより、加工方法・測定方法を暗示できるのでライフサイクルのプロセスを示すことができ、各プロセスにおいても、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。
- ・ 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、公差の設定は幾何公差を用いてよりの確に表現することができる。
- ・ 各プロセス間のデータ連携においても、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、正確な情報伝達による手戻りの減少という効果が期待できる。
- ・ このような知識を身に着けたエンジニアが増えることにより、効率的な社会インフラの整備に繋がって行くものと考えられる。

##### 【性能発注】

- ・ 幾何公差を適用することにより、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による減少によっても、コストを削減することができる。
- ・ 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、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。
- ・ 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。

##### 【魅力ある公共事業】

- ・ 幾何公差の適用により大きな経済効果も期待できるため、給与の保証や労働環境の改善を通じて、若者にも魅力的な業界となっていくのではないかとと思われる。

### (2) インフラの老朽化と施設の更新

インフラの老朽化と施設の更新については、点検と保

全に分けて考察することとした。

#### a) 点検

ブレインストーミングの結果、点検の対策として、幾何形状について考察することとした。

ドローンやMMSの利用により容易に大量の点検データを取得できるようになった。しかしながらドローンで撮った写真のハンドリングができなかったり、取得したデータが正常か異常かを判定できなかったりするものが現状の課題である。そこで幾何公差の適用により、3次元モデルの幾何特性をよりの確に表現することができ、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、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ため、取得したデータが正常か異常かの判定を容易にできると考えられる。

#### b) 保全

ブレインストーミングの結果、保全の対策として、人間と機械のコミュニケーションとプロセスについて考察することとした。

保全の分野においてもBIM/CIM, IoT, AI, ロボティクスの活用が期待されており、機械化や自動化を考えると人間と機械のコミュニケーションが重要なものとなると考えられる。そこで幾何公差を適用することにより、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ので、人間通しのコミュニケーションだけではなく、人間と機械のコミュニケーションも正確に行えるものとする。

幾何公差は、加工方法・測定方法を暗示することで、プロセスを示すことができる。保全においてもプロセスを考慮することにより、長寿命化において、次にどこが悪くなるという予測がつきやすくなるため、対策を行う優先順位を決めることが可能になる。

幾何公差は表面の形体を評価するものなので、内部変状については評価することができない。そこで、3DAのアトリビューツを使って、たとえば、3D設計モデルに内部変状の点検方法のアトリビューツを付加することにより、表面の形体、内部変状の保全が可能になるものとする。

### (3) 生産性の低迷

ブレインストーミングの結果、生産性の低迷の対策として、工程すべてのオートメーション化、全数検査、手戻りについて考察することとした。

#### a) 工程すべてのオートメーション化

製造業の生産性は向上しているのに対し、公共事業の生産性は横ばいであり、期待したほどは伸びていない。そこで、公共事業の生産性を向上させる手段として、

ICTを活用した機械化や自動化による工程すべてのオートメーション化が考えられる。オートメーションを導入するためには、人を介在しない機械間の情報伝達が必須であるため、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、あいまいさや解釈の違いが排除されることにより、正確な情報伝達が行なわれる。そして、プロセスも重要な要素であるが、幾何公差は、加工方法・測定方法を暗示できるため、形状だけではなくプロセスも機械間で情報伝達できると考えられる。そして、オートメーションを実現する上で、Society5.0<sup>41)</sup> やインダストリー4.0<sup>42)</sup> は有効な方策となる。

しかしながら、現状は人が介在しており自分の仕事なくなるのは脅威と感ずるため、必ずしも好意的に受け取られないことも考えられる。これに対しては、働き方改革の推進やインセンティブが働くような仕組みづくりが不可欠である。また、既存技術だけでは工程すべてのオートメーション化は実現できないため、研究開発やAIの活用も必要である。そして、公共事業も護送船団方式から差別化への変革が必要となり、価値をどこに置くかによって、ビジネスモデルの差別化が起こり、たとえば、ユニット化や統合化といった製作方法による差別化が起こると考えられる。

#### b) 全数検査

検査の方法としては、全数検査と抜き取り検査があるが、全数検査は不良品が確実に除去できるが労力とコストがかかるため、抜き取り検査によりロットの品質保証を行うのが一般的であった。

幾何公差を導入することにより、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ため、製造業では3次元測定器を使用して、設計モデルと製品の3次元点群データとの差分を評価して、合否判定が行われている。公共事業においても、すべての構造物をドローンや3Dスキャナーで点群データを取得することにより、全数検査ができるようになると思われる。

また、幾何公差の導入により、測定方法を暗示でき、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すると考えられる。従来の検査は完成品に対し検査を行っていたが、幾何公差を適用することにより、製作途中でも検査が行えるため、不良品の減少と製作工程へのフィードバックも可能になるものと思われる。

そして、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、コストを削減することができ、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、といった効

果も期待できる。

全数検査を行う場合、すべてを合格にする考え方と不良品を認める考え方がある。理想はすべてを合格にする考え方であるが、労力やコストがかかるものと思われるので、検査コスト、不良品を含めた製造コスト、廃棄コストなどを踏まえた費用対効果を考慮した不良品を認める考え方も採用する価値があると考えられる。

#### c) 手戻り

手戻りの原因として、コミュニケーション不足と条件変更が考えられる。

コミュニケーション不足においては、口頭でのコミュニケーションのみで図柄の共有が行われていないことによる手戻りが考えられる。そこで、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ことと、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ことにより、コミュニケーション不足による手戻りは低減できると考えられる。

条件変更については、優先順位の変更による手戻りが考えられる。幾何公差は加工方法・測定方法を暗示できるため、優先順位を明確にすることにより、手戻りは低減できると考えられるが、形状に由来しない優先順位は幾何公差を適用できないため、3DAのアトリビューツを使った対策を考える必要がある。

### (4) 技術革新と技術の伝承

技術革新と技術の伝承については、技術革新と技術の伝承に分けて考察することとした

#### a) 技術革新

ブレインストーミングの結果、技術革新については、持続的イノベーションと破壊的イノベーション<sup>4)</sup>について考察することとした。

持続的イノベーションと破壊的イノベーションはクレイトン・クリステンセンによって提唱されたものであり、持続的イノベーションとは、従来製品の改良を進めるものであるのに対し、破壊的イノベーションとは、従来の価値基準の下では従来製品よりも性能を低下させるが、新しい異なる価値基準のもとでいくつかの優れた特長を持つ新技術のことである。

公共事業での持続的イノベーションでは、幾何公差が持つ正確な情報伝達や不具合発生への減少に着目し、啓蒙活動や小さい改良の積み重ねにより、大きな経済効果を生み出す方が考えられる。

公共事業での破壊的イノベーションでは、3次元情報技術を活用すること自体が破壊的ではあるが、ブレインストーミングの結果、市民の活用が議論された。特別な技術を持たない市民との情報共有や情報伝達は、正確な

情報伝達ができる幾何公差が適しており、施設の点検や変異の常時観測などは、市民が形状を見て判断するしくみが出来れば、正確な情報が早く、安く収集できるものと思われる。しかしながら、無償でやり続けるメリットが見いだせなくなる可能性もあるので、ポイント付与や住民税の控除などのインセンティブも考慮する必要がある。

#### b) 技術の伝承

ブレインストーミングの結果、技術の伝承については、難しいことを単純化して伝える方法と難しいことを難しくそのまま伝える方法について考察することとした。

難しいことを単純化する方法とは、まず難しいことの要因を明確にし、その要因を分析し、要因に対する対策や対応を単純化することが出来れば、分業化、機械化、自動化へと進むことができると考えられる。分業化には正確な情報伝達は必要不可欠であり、幾何公差は有効な手段となり、機械化、自動化には正確な情報伝達に加え、解析精度の向上、加工方法・測定方法を暗示、人間が介在しない合否自動判定が出来る幾何公差は有効な手段であると考えられる。

難しいことを難しくそのまま伝える場合、技術を伝える現場がなかったり、伝え方が悪く、伝えたいものが伝わってなかったりすることが考えられる。また、言葉だけでは伝わらないこともあるので、記号化やマニュアル化が重要となる。記号化やマニュアル化には正確な情報伝達が必要不可欠であり、幾何公差は有効な手段となると考えられる。また、3Dとマネジメントの教育を受けた若い技術者に難しいことを任せることで、難しいことを単純化する活路が見いだせるのではないかと考える。

### (5) 防災・減災対策

ブレインストーミングの結果、防災・減災対策として、常時観測、避難経路、建物の危険度診断について考察することとした。

#### a) 常時観測

災害が発生した時の復旧の迅速化が課題となっている。特に現地調査の時間短縮が必要である。たとえば法面崩壊の場合、危険と判断された斜面には、傾斜計やセンサーを付けてモニタリングをしているので、崩壊前後の変化を把握できるが、それ以外の場合は、再度現地調査から始める必要がある。現在ではドローンやMMSで容易に点群データの取得がいき、観測結果をクラウドで処理できるしくみが存在するため、日本全土を常時観測でき、モニタリングの結果から幾何的な変状をチェックするしくみを提案する。そして、危険度を幾何公差を使って示すことにより、危険度の自動判定が可能になるため、対策の優先順位が明確になり、的確に対策が行われれば減災に寄与するものと考えられる。また、すでにCGやVR

を用いたサービスが開発されており、従来のハザードマップよりも、クラウド上の3D形状を見ることにより、一般の方々にも危険度の判断が容易になるものと考えられる。そして、災害が発生した場合でも崩壊前後の変化の把握は元より、現地調査も不要となるため、早期の復旧対策をたてることが可能となり迅速な復旧ができるものと考えられる。課題としては、幾何公差は表面の形体しか評価できないため、内部構造については、3DAのアトリビューツを使って表現する必要がある。

#### b) 避難経路

災害が発生した時、迅速に復旧するためには車両の輸送ルート確保が重要な要素となる。たとえば、巨大地震が発生した場合、橋梁が通行可能かどうかの判断は、道路管理者が現地に赴いて確認する必要がある。そこで、センサー等を使って危険域を幾何公差を使って示すことにより、危険度の自動判定ができるようになるため、緊急車両のルート設定が可能となるものと考えられる。また、危険エリアを幾何公差を使って示すことができれば、一般の方々の避難経路を示すことができ二次災害も防ぐことが可能になるものと考えられる。

#### c) 建物の危険度診断

巨大地震が発生した後の建物の危険度診断は重要な要素であるが、現状では一級建築士等の技術者が一軒一軒診断しており、診断結果も個人により差異が発生しているのが現状である。そこで、住宅の品質確保の促進等に関する法律の住宅性能表示制度の性能表示事項の構造の安定に関することの許容値と幾何公差を連動させることにより、自動判定が可能となり、特別な技術がなくても、早く、公平に診断できるものと思われる。

## 6. 結論

本研究では、土木分野では幾何公差に対する既存研究がなかったため、広く幾何公差の3次元での適用に関する文献調査を行い、幾何公差を導入したことによる、効果、課題、変革を、経営工学のフェーズごとに分類し、さらに幾何公差の全体像を知るために、フェーズごとの分析結果のキーワードをK J法を用いて7つの文章に集約した。

次に、公共事業の課題を国土交通省の施策からキーワードを抽出し、K J法を使って9つの課題に整理し、重み付けによる評価を行って、「人口減少や少子高齢化による労働者不足」、「インフラの老朽化と施設の更新」、「生産性の低迷」、「技術革新や技術の伝承」、「防災・減災対策」の5つの重要課題を抽出した。

最後に文献調査により集約された7つの文章を参考に、公共事業の5つの重要課題に対し、3次元情報技術と幾何

公差を適用することにより課題解決できる事象を示すことができた。

製造業では寸法公差や幾何公差を用いて形体を規定するのに対し、公共事業では寸法と出来形基準で形体を規定しているが、著者ら<sup>5) 4)</sup>の先行研究により、土木構造物においても寸法公差や幾何公差を適用できることを確認している。そして、幾何公差は、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えるため、公共事業でのさまざまな課題解決のためのツールとして利用できるものと思われる。

今後は、公共事業の残り4つの課題に対する課題解決方法の提案と経営工学のフェーズごとの効果、課題、変革に着目した幾何公差の適用についての提案も行って行きたい。

**謝辞：**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。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：3次元モデル表記基準（案），2018。
- 2) ISO：ISO 16792 First Edition 2006-12-15 Technical product documentation – Digital product definition data practices, 2006。
- 3) （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。
- 4) （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。
- 5) 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次元アノテータドモデルの提案, 土木学会論文集 F 3 (土木情報学), Vol.73, No.2, I\_21- I\_28, 2017。
- 6) 福士直子：CIMにおける3Dアノテーションの活用法の最終報告書（案），（一材）日本建設情報総合センター研究助成事業報告書, 助成番号 第2017-03号, 2018。
- 7) The American Society of Mechanical Engineers：Digital product definition data practices, ASME Y14.5, 2018。
- 8) 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。
- 9) 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。
- 10) 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。

- 11) JIS Z 8114 : 製図—製図用語, 1999.
- 12) 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.
- 13) 大西清 : JIS にもとづく標準製図法 (第 13 全訂版), p.83, 2016.
- 14) 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/namazugi>> (入手 2017.10.11) .
- 15) 城古雅典, 森脇明夫, 有賀貴志, 福土直子, 矢吹信喜 : 橋脚の 3 次元モデルに寸法公差を適用した 3 次元アノテーションモデルの考察, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.42, pp43-46, 2017.
- 16) 城古雅典, 有賀貴志, 矢吹信喜 : 寸法公差を適用した 3 次元アノテーションモデルの考察, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.72, VI-714, 2017.
- 17) 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.
- 18) 国立国会図書館雑誌記事索引 : <[http://www2.chuo-u.ac.jp/library/db\\_ndlopa.htm](http://www2.chuo-u.ac.jp/library/db_ndlopa.htm)> (入手 2017.12.27) .
- 19) CiNii : <<http://ci.nii.ac.jp/>> (入手 2017.12.27) .
- 20) J-STAGE : <<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/-char/ja>> (入手 2017.12.27) .
- 21) 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.
- 22) 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.
- 23) 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.
- 24) 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.
- 25) 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.
- 26) 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.
- 27) 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.
- 28) 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.
- 29) 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.
- 30) 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.
- 31) 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, 精密工学会学術講演会講演論文集, Vol.2014S (0), pp.797-798, 2014.
- 32) 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.
- 33) 一橋大学イノベーション研究センター (編) : イノベーション・マネジメント入門, pp172-175.
- 34) 辻正重 : 経営工学総論, pp.20-159, ミネルヴァ書房, 2010.
- 35) CIM 技術検討会 : CIM 技術検討会平成 24 年度報告, 2013.
- 36) 国土交通省 : 国土のグランドデザイン 2050 ～対流促進型国土の形成～, 2014.
- 37) 国土交通省 : 建設現場の生産性に関する現状, 2015.
- 38) 働き方改革実現会議 : 働き方改革実行計画, 2017.
- 39) 国土交通省 : 第 4 期国土交通省技術基本計画, 2017.
- 40) 国土交通省 : 平成 28 年度国土交通省白書, 2017.
- 41) Society5.0 : <[http://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/index.html](http://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html)> (入手 2018.11.15) .
- 42) インダストリー 4.0 : <<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd135210.html>> (入手 2018.11.15) .
- 43) Clayton M. Christensen : イノベーションのジレンマ 増補改訂版, pp.9-10, 翔泳社, 2001.
- 44) 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 次元アノテーションモデルの提案, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.73, VI-641, pp.1281-1281, 2018.

(2019.5.20 受付)

## SURVEY OF GEOMETRIC TOLERANCE ABOUT THREE-DIMENSIONAL TECHNOLOGIES AND ITS APPLICATION FOR PUBLIC WORKS

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

Drawings of the public works are described theoretically accurate dimensions. Allowable values are described in the final delivery standard with measurement items and specification values. On the other hand, drawings of the manufacturing industry, dimensional tolerance and geometric tolerance are described as allowable values in addition to dimensions. 3D CAD software is able to create complicated shape of 3D models. It seems that setting of tolerance about geometric characteristics of 3D models are more suited to using geometrical tolerance rather than dimensional tolerance. Geometrical tolerance could describe information more accurately.

In this research, literature survey of 3D tolerance was conducted. This paper extracted and analyzed effects by applying geometric tolerance from viewpoints of management engineering. This paper reported the evaluation results how to solve problems of public works applying geometric tolerance.