



鋼管立体トラスに用いられる球継手の耐力評価に関する研究

田中, 剛

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1994-09-21

(Date of Publication)

2007-09-14

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1871

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3105471>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001871>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍）	たなか つよし 田 中 剛	（大阪府）
博士の専攻分野の名称	博 士（工 学）	
学位記番号	博ろ第109号	
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当	
学位授与の日付	平成6年9月21日	
学位論文題目	鋼管立体トラスに用いられる球継手の耐力評価に関する研究	

審 査 委 員	主査 教授	金 谷 弘	
	教授	富 田 佳 宏	教授 辻 文 三
	助教授	田 淵 基 嗣	

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、鋼管立体トラスの節点に用いられる継手のひとつである鋼球を使用した接合形式について、その耐力評価の方法を研究したものである。

近年、建築空間の多様化に伴って、様々な形状の大規模空間を構成するのに有利な鋼管立体トラスの需要が急増している。多数の部材が集まる立体トラスの節点で、部材を互いに偏心させることなく接合するには、鋼球を介して部材を接合する継手形式—球継手—が最も合理的である。この接合方式には、(1)中実球あるいは中空球に鋼管をネジ接合する(2)中空球に鋼管を溶接接合する の2種類がある。前者は特殊な工夫に基づき開発されたもので、特定の立体トラスにしか利用できない。後者は一般的に利用可能であるがこの種の球継手に関する既往の研究は個々の実施設計における継手性能の確認を目的として行なわれており、系統的な研究はなされていない。そのため、球継手を用いた立体トラス節点の設計手法は未だ確立されていない。

本論文は6章より構成されている。

第1章は序論で、既往の研究を概括するとともに本研究の目的を述べた。

第2章では、鋼球の材料性状について述べた。

本研究で対象とする鋼球は、一般に円板に絞り加工を施して成形された半球2個を溶接して作られる。冷間成形を施すことにより、半球の板厚および機械的性質は、原板のそれらから変化し、また、半球内には残留応力が封じ込められる。特に加工硬化による降伏点応力度の上昇は、球継手の耐力に影響を与える。

鋼球の材料性状に関して以上の項目について測定を行ない、さらに、測定された球厚の分布を基に簡略な塑性解析を行い、塑性加工による材料の機械的性質の変化の程度を概略推定することを試みた。

第3章では、無補強球継手の耐力評価法を提案した。

鋼球は2個の半球から作られるため、その溶接施工を施す際に、補強材としてダイアフラムを挿入することが多い。また、ダイアフラムを挿入することにより溶接施工も容易になる。この場合、ダイアフラム面を作用軸力の大きな上下弦材の面に一致させて用いれば、設計上有利である。しかし、斜材についてはダイアフラム面を外れること、および、ダイアフラムの補強効果を調べるためにも、中空鋼球の耐力を知っておくことは重要である。

継手の弾塑性挙動を把握する上で最も基礎となる単軸載荷時の挙動を知るために、1方向から鋼管を溶接した単純模型の試験体による実験を行なった。実験因子は、鋼球の径厚比および鋼管径の比とした。

鋼球を球殻とし鋼管からの作用力を環状線荷重とした軸対称な解析モデルに対して極限解析の手法を適用し、その真の崩壊荷重を得た。球殻の降伏条件には、Onat・PragerがTrescaの降伏条件に基づいて軸対称殻に対して求めた4次元降伏曲面を用いた。解析を行なう上で、軸対称殻の極限解析に関する分野に以下の2つの新しい知見を付け加えた。

- (1) この種の問題を解く上で計算を簡略化することに効果的な新しい境界条件を提示した。
- (2) 降伏関節円近傍における応力軌跡の型は、既往の文献に示されていない新しい型であり、その場合の解法を示した。

得られた真の崩壊荷重は、鋼球の実験における最大耐力を適切に評価した。

さらに、得られた崩壊荷重は数値解析解であり、個々の継手に対してその解を求めるには手続きが複雑で実用的ではないため、上記(1)で示された境界条件を用いて、真の崩壊荷重の下界を与える簡便な耐力推定式を提示した。

第4章では、ダイアフラムにより補強された球継手の耐力評価法を提案した。

継手が単軸圧縮力を受ける場合の継手耐力に与える各寸法因子の影響を単純模型実験により調べた。実験因子は、鋼球の径厚比、鋼管径と鋼球径の比およびダイアフラムの径厚比とした。

ダイアフラムにより伝達される負担耐力を推定するために、ダイアフラム面近傍を周辺にある幅の円環を有する円板にモデル化し、極限解析の手法を適用してその崩壊荷重を求めた。ただし、円板は平面応力状態にあり、その材料はTrescaの降伏条件に従うこと、および、円環には軸力と曲げモーメントの組合せにより降伏ヒンジが形成されると仮定した。

極限解析による崩壊荷重は、実験で得られたダイアフラムの補強効果に与える各寸法因子の影響を適切に評価した。

さらに、ダイアフラム補強された球継手の実用的な耐力評価法として、第3章で得られた無補強継手の耐力と本章で提示したダイアフラムの負担耐力との累加による簡便な耐力推定式も提示した。

第5章では、多軸載荷される鋼球の継手耐力が相互にどのような相関を有するかを弾塑性有限要素法を用いた数値実験を行なうことにより、定量的に調べ、単軸載荷時の結果を基に考察した。

解析対象は無補強球継手とし、載荷状態は(1)二軸載荷(2)弦材と斜材からの多軸載荷の2種類でいずれも比例載荷とした。上記(1)は主に弦材からの軸方向力が大きい立体トラスの中央部分を対象とし、鋼球の径厚比、鋼管径と鋼球径の比および2方向の軸力の比を解析因子としたパラメトリック・スタディーを行ない、その継手耐力に及ぼす影響を調べた。上記(2)に関しては、実際に用いられている立体トラスの部材寸法を考慮したモデルに対してケース・スタディーを行ない、弦材からの軸力と斜材からの軸力が互いの継手耐力に及ぼす影響について調べた。

以上の解析結果と3章で得られた単軸載荷時の耐力推定式を基に、多軸載荷される球継手の耐力評価法を提案した。

第6章では、各章で得た結論を纏めた。

以上

論文審査の結果の要旨

近年、建築空間の多様化に伴って、様々な形状を持つ大規模空間の構成に有利な鋼管立体トラスの需要が急増している。多数の部材が一点に会する鋼管立体トラスの節点を偏心させることなく構成するには、鋼球を介して鋼管を接合するのが最も合理的である。

この接合形式には、(1)中実球あるいは中空球に鋼管をねじ接合する(2)中空球に鋼管を溶接接合するの2種類がある。前者は特殊な工夫に基づき開発されたもので、特定の立体トラスにしか利用できない。後者は一般的に利用可能であるが、この種の球継手に関する既往の研究は個々の実施設計における継手性能確認が目的として行なわれており、系統的な研究はなされていない。そのため、球継手を用いた立体トラス節点の設計手法は未だ確立されていない。

著者はこの点に着目して、節点を構成する部材及び鋼球の寸法をパラメータとする実験的・解析的研究を行ない、その設計手法を確立することを試みている。

論文は6章で構成されている。

第1章は序論で、既往の研究を概括するとともに本研究の目的を示している。

第2章では、鋼球の材料性状について述べている。本研究で対象とする鋼球は、一般に円板に絞り加工を施して成形された半球2個を溶接して作られる。冷間成形を施すことにより、半球の板厚および機械的性質は、原板のそれらから変化する。加工硬化による降伏点応力度の上昇は、球継手の耐力に影響を与える。本章では、上記の項目の測定結果について述べ、さらに、測定された球厚の分布を基に簡略な塑性解析を行い、塑性加工による材料の機械的性質の変化の程度を概略推定することを試みている。

第3章では、無補強球継手の耐力評価法を提案している。

鋼球は2個の半球から作られるため、その溶接施工を施す際に、補強材としてダイアフラムを挿入することが多い。また、ダイアフラムを挿入することにより溶接施工も容易になる。この場合、ダイアフラム面を作用軸力の大きな上下弦材の面に一致させて用いれば、設計上有利である。しかし、斜材についてはダイアフラム面を外れること、および、ダイアフラムの補強効果を調べるためにも、中空鋼球の耐力を知っておくことは重要である。

継手の弾塑性挙動を把握する上で最も基礎となる単軸載荷時の挙動を知るために、1方向から鋼管を溶接した単純模型の試験体による実験を行ない、各寸法因子が継手挙動に及ぼす影響を検討した。

鋼球を球殻とし、鋼管からの作用力を環状線荷重とした軸対称な解析モデルに対して、極限解析の手法を適用し、その真の崩壊荷重を得た。なお、球殻の降伏条件には、Onat・PragerがTrescaの降伏条件に基づいて軸対称殻に対して求めた4次元降伏曲面を用いている。解析においては、以下の2つの新しい知見を得ている。

- (1) この種の問題の解析を複雑にする原因の1つである降伏関節円上の応力成分の設定に関して、応力成分を一意に決定することができる新しい条件を加え、解析を容易にしている。
- (2) 降伏関節円近傍における応力軌跡の型は、既往の文献に示されていない新しい型であり、その場合の解法を示している。

得られた真の崩壊荷重は、鋼球の実験における最大耐力を適切に評価した。

さらに、得られた真の崩壊荷重は数値解析解であり、個々の継手に対してその解を求めるには手続きが複雑で実用的ではないため、真の崩壊荷重の下界を与える簡便な耐力推定式を提示している。

第4章では、ダイアフラムにより補強された球継手の耐力評価法を提案している。

継手が単軸圧縮力を受ける場合の挙動を単純模型実験により調べ、各寸法因子が継手耐力に及ぼす影響を検討した。

ダイアフラムにより伝達される負担耐力を推定するために、ダイアフラム面近傍を周辺にある幅の円環を有する円板にモデル化し、極限解析の手法を適用してその崩壊荷重を求めた。

極限解析による崩壊荷重は、実験で得られたダイアフラムの補強効果に与える各寸法因子の影響を適切に評価した。

さらに、ダイアフラム補強された球継手の実用的な耐力評価法として、第3章で得られた無補強継手の耐力と本章で提示したダイアフラムの負担耐力との累加による簡便な耐力推定式も提示している。

第5章では、多軸载荷される鋼球の継手耐力が相互にどのような相関を有するかを弾塑性有限要素法を用いた数値実験を行なうことにより定量的に調べ、単軸载荷時の結果を基に考察した。

以上の解析結果と3章で得られた単軸载荷時の耐力推定式を基に、多軸载荷される球継手の耐力評価法を提案している。

第6章では各章で得られた結論を纏めて、設計への提言と今後に残された問題点を提示している。

以上本論文は、建築鋼構造物の設計上重要な課題である球継手を用いた鋼管立体トラス節点の耐力評価について新しい解析手法を提案するとともに、工学的な貴重な知見を提示しており価値ある集積であると認める。

よって、学位申請者田中 剛は博士（工学）の学位を得る資格があると認める。

なお、学位に付記する専攻分野の名称は工学が適当と判断する。