

平成 28 年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

『高強度繊維材と異種材料端子の締結を利用した
鉄骨造建築物の高機能耐震化工法の開発』

研究開発成果等報告書概要版

平成 29 年 3 月

担当局 中部経済産業局

補助事業者 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

目 次

第 1 章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的、目標及び実施計画

(1) 研究開発の背景と動向

- 1) 概要
- 2) 高強度繊維材（棒状）に関する研究
- 3) 高強度繊維材（布状）に関する研究
- 4) 制震、免震に関する研究
- 5) 防錆性、耐食性に関する研究

(2) 研究目的

- 1) プレテンション機能付端子の開発（サブテーマ 1）
- 2) 圧縮力の逃し方技術の開発（サブテーマ 2）
- 3) 既存鉄骨への無接合技術の開発（サブテーマ 3）
- 4) 多点接合端子、端子同士の接合方式の開発（サブテーマ 4）
- 5) 高耐食性を有する接合端子の開発（サブテーマ 5）

(3) 研究目標

- 1) プレテンション機能付端子の開発（サブテーマ 1）
- 2) 圧縮力の逃し方技術の開発（サブテーマ 2）
- 3) 既存鉄骨への無接合技術の開発（サブテーマ 3）
- 4) 多点接合端子、端子同士の接合方式の開発（サブテーマ 4）
- 5) 高耐食性を有する接合端子の開発（サブテーマ 5）

(4) 実施計画

- 1) 概要
- 2) 実施内容
 - a) プレテンション機能付端子の開発（サブテーマ 1）
 - b) 圧縮力の逃し方技術の開発（サブテーマ 2）
 - c) 既存鉄骨への無接合技術の開発（サブテーマ 3）
 - d) 多点接合端子、端子同士の接合方式の開発（サブテーマ 4）
 - e) 高耐食性を有する接合端子の開発（サブテーマ 5）
- 3) 実施機関及び実施場所
 - a) プロジェクトの管理・運営
 - b) 事業管理機関
 - c) 研究実施場所
- 4) 委託期間
- 5) 実施計画日程

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

- 1) 研究組織
- 2) 管理体制

(2) 管理員及び研究員

(3) 経理担当者及び業務管理者

(4) その他

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

2-1 プレテンション機能付端子の開発（サブテーマ1）

- （1）研究目的
- （2）研究内容
 - 1）金属締結端子内混入エポキシ金属締結樹脂の最適化
 - 2）金属締結端子の内部形状の最適化
 - 3）プレテンション導入が可能となる金属締結端子の開発
- （3）研究成果
 - 1）プレテンションの導入
 - 2）金属締結端子内の形状

2-2 圧縮力の逃し方技術の開発（サブテーマ2）

- （1）研究目的
- （2）研究内容
 - 1）圧縮力負担ゼロ
 - 2）20 サイクル正負繰返し後の保証耐力の確認
 - 3）可能な曲げ半径の確認
- （3）研究成果
 - 1）圧縮力負担ゼロ
 - 2）可能な曲げ半径の確認

2-3 既存鉄骨と金属締結端子の無接合技術の開発（サブテーマ3）

- （1）研究目的
- （2）研究内容
- （3）研究成果

2-4 多点接合端子の開発（サブテーマ4）

- （1）研究目的
- （2）研究内容
 - 1）面内自由稼働
 - 2）3点接合端子の保有耐力の確認試験、偏角強度試験
- （3）研究成果

2-5 高耐食性を有する接合端子の開発（サブテーマ5）

2-6 事業化への取組み

- （1）想定する市場
- （2）販売促進戦略
- （3）事業化による経済効果

第3章 全体総括

3-1 研究開発の総括

3-2 今後の展開と事業化

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

[特定ものづくり基盤技術の種類]

主たる技術：接合・実装に係る技術

[川下製造業者の抱える課題及びニーズ]

b. 住宅・建築物・構造物分野等に関する事項

ウ. 免震性、耐震性、制震性

[高度化指針に定める高度化目標]

エ. 耐震性の優れた締結用部品及び技術の開発

オ. 高耐食性をもつ接合用部品の開発

1) 研究開発の背景・研究目的及び目標

①-1 研究開発の背景

国土交通省が実施した“住宅、建築物の耐震化促進に関するアンケート調査”によると、『耐震化の必要性を感じながらも実施していない』とした回答者のうち75%は建物耐震化に要するコスト負担であり、その他、補強効果が信用出来ない、工事に係る関係者間調整の複雑さ等が主な理由である。

また、右表に示すように、住宅、特定建築物の耐震性の無い建物は平成15年から平成20年にかけて1割程度しか減少しておらず、取壊し、解体等を考慮すると、ほとんど進んでいないに等しい。

耐震化の進捗状況				
住 宅	耐震化率	平成15年	平成20年	平成27年(目標)
	耐震性あり	3,550万戸	3,900万戸	4,450万戸
	耐震性なし	1,150万戸	1,050万戸	500万戸
特定建築物	耐震化率	75%	80%	90%
	耐震性あり	27万棟	33万棟	36万棟
	耐震性なし	9万棟	8万棟	4万棟

(出所) 国土交通省資料より作成

新耐震基準への対応建物										2008 国土交通省調べ	
法人業種	建物総数(棟)	鉄骨鉄筋・鉄筋コンクリート造			鉄骨造			木造、その他			
		対応	未対応	未確認	対応	未対応	未確認	対応	未対応	未確認	
農・林・漁・鉱業	12,470	10	60	550	30	140	1,650	10	130	1,140	
建設業	61,940	410	800	3,930	490	1,590	7,050	130	620	2,910	
製造業	56,950	600	960	5,690	810	990	8,700	140	360	2,710	
小売、医療、教育等サービス業	620,640	15,000	16,480	67,640	5,180	6,720	58,790	2,240	9,310	49,560	
計	752,020	16,040	18,280	77,790	6,510	9,450	76,190	2,510	10,400	56,350	

このような現状から、特定建築物以外の民間建物(工場、倉庫)も、右表のとおり、新耐震基準への未対応分が多い。さらに、内閣府の公表によると、“南海トラフ巨大地震”が発生した場合の経済損失は220兆円に達するとされている。

また、インフラ損壊は、169兆円と想定されており、これは、東日本大震災の10倍の損失となる。このような状況下、これらの建物所有者は、人命の安全確保と、顧客への供給責任遂行のため、事業継続マネジメントシステム(BCP)への取組が社会的責務になっている。

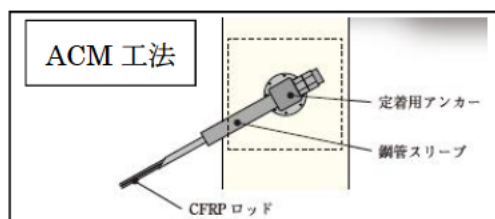
当該分野における研究開発動向

○高強度繊維材(棒状)を補強材に使う研究の動向:

主に鉄筋コンクリート造の建物を対象に“ACM工法”が開発されている。本開発に最も近い形式である。ただし耐荷力は600kNと本開発(800kN)より小さい。他に棒状の高強度繊維材を使う例はない。

○高強度繊維材(布状)を補強材に使う研究の動向:

主に鉄筋コンクリート造の土木構造物を対象に“炭素繊維巻立工法”



が開発されている。主に靱性を高める補強方法である。実用化されているが、さらに材料面、施工方法面で開発が進んでいる。

○制震、免震の研究の動向：

制震、免震は中高層建築物で開発が盛んに進められているが低層建物では費用対効果が小さいので開発されていない。

耐震補強方法には、建物用途、規模により3タイプ補強方法がありその特徴を右表に記す。

※対象建物(鉄骨造3階建以下)は耐震による補強が最も効果的である

	横揺れ	工期	施工	コスト	メンテナンス	総合評価
耐震	△	◎	◎	◎	○	◎
制震	○	○	○	△	◎	○
免震	◎	×	△	×	○	△



エ、防錆性、耐食性

①-2 研究開発の背景

大型構造物は、風雨や直射日光、塩分などに長期間晒される厳しい自然環境の下で、使用されるため、防錆性、耐食性に優れた部材で築造する必要がある。

研究開発動向

鋼材であっても、塗装等で防錆する必要がない耐候性鋼が開発されている。主に橋梁で使われている。

【研究開発の高度化目標及び技術的目標値】

「高度化指針」において定める高度化目標

エ.耐震性に優れた締結用部品及び技術の開発

・佐伯総合建設が開発した高強度繊維と金属端子の締結技術を用い、低コスト、短工期の耐震補強方法を開発するためには、アラミド繊維が有する伸縮性を予め、テンションを与えることにより、より緊張した状態を保持させる機能と、圧縮力が働いた時に、その応力をアラミド繊維に伝達させない機能の開発が必要となる。

また、この技術をより顧客ニーズに近づけるために、接合端子を既存鉄骨に無溶接で接合させる技術の開発が必要となる。

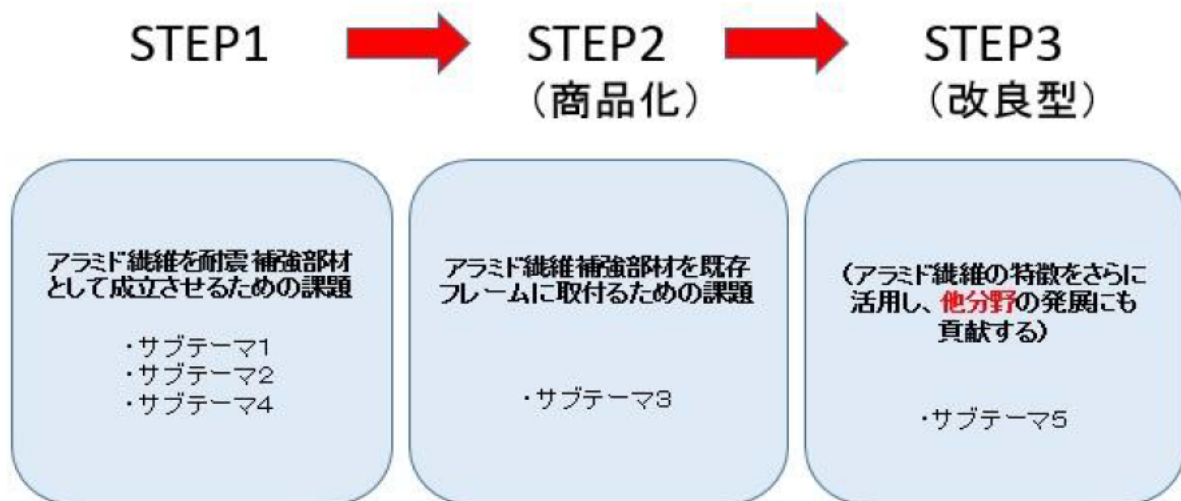
オ.高耐食性を持つ接合用部品の開発

①-3・耐震補強部材、吊橋のメインワイヤー、土留壁のアースアンカー等の構造物には、多大な引張力等が作用するが、これらは長期間自然環境に晒されているため、構成部材が防錆性、防食性が必要となる。

②新技術を実現するために解決すべき5つの研究課題は下記の通り。

実用化のための課題	サブテーマ
・高強度繊維材は引張力が働いた場合、最大引張力に達するまでに伸縮(1.2%)するので、予めテンションを加える必要があり、その機能を保持した端子を開発する。	1) プレテンション機能付端子の開発
・高強度繊維材は圧縮力を期待出来ないが多少の圧縮力が発生するため、圧縮力のかからない形状にすることが必要となる。	2) 圧縮力の逃し方の技術の開発
・新技術をより顧客ニーズに合わせるため、耐震補強部材を既存鉄骨に無溶接で接合させる技術の開発。	3) 既存鉄骨への無溶接接合技術の開発
・既存設備の移動を無くすため、様々なブレースバリエーションに対応する接点形状の開発	4) 多点接合端子、端子同士の接合方式の開発
・金属端子は自然環境化で長期間放置されると、防錆性が期待出来ない。 ・高強度繊維自体は自然環境化の紫外線に弱い。	5) 高耐食性を有する接合端子の開発(樹脂性端子)

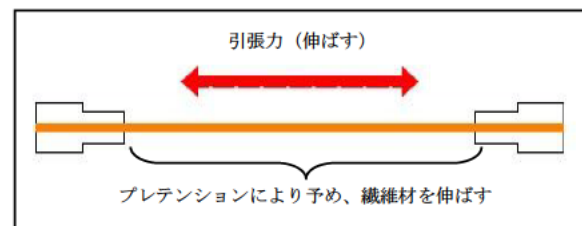
【各サブテーマの位置付け】



【本研究開発における技術的目標値】

1. プレテンション機能付端子の開発

・ロッド状(組紐)のアラミド繊維は、引張力が加わった場合、耐力を発揮するまでにその特性上全長に対して1.2%程度伸縮(伸びる)する。そのため、地震発生時の水平力を負担するまでのタイムラグが発生する。よって予めテンションを加えることで、水平力を瞬時に負担する必要があり、このプレテンション機能を開発する。

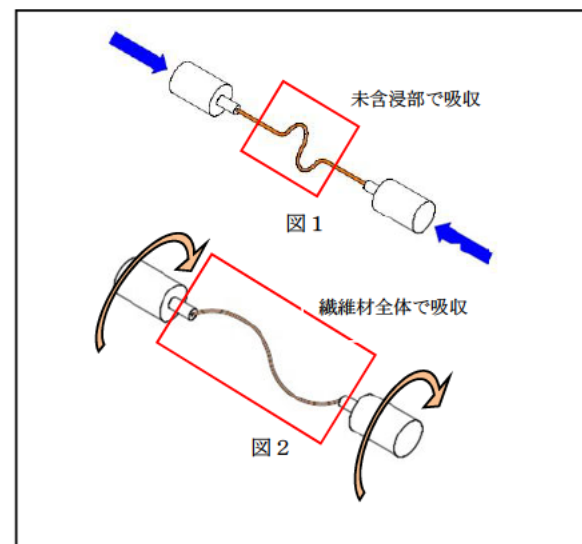


技術目標値

・アラミド繊維材の伸縮率を目標値 0.9%とする。(締結金物内のすべり量 $\leq 5.0\text{mm}$)

2. 圧縮力の逃し方の技術の開発

高強度繊維材は、引張力には高性能を示すが、圧縮力に対しては耐力を期待出来ない。
そのため耐震補強部材に圧縮力が作用した場合、そのテンションを逃がす必要があり、現在は未含浸部(樹脂皮膜無し)を設けることによる対応を検討している(図1)が、保証耐力が30%程度減になり、本来有する引張強度をフルに発揮できないため、対応策の研究をする。柔軟性のある樹脂による皮膜と接合端子に回転性能を持たせることで、保証耐力減を抑える(図2)。



技術目標値

・アラミド繊維補強部材内の圧縮力負担ゼロ
・20 サイクル正負繰返試験後の引っ張り保証耐力減0%

3.既存鉄骨への無溶接接合技術の開発

鉄骨造建物の在来工法による耐震化が進まない理由に、補強部材の取付が溶接接合であり、火気養生及び工事に伴う工場稼働停止等によるコスト増がある。そのため、高強度を有するアラミド繊維による補強部材(アラミド繊維と金属端子)を溶接しないで鉄骨に接合する技術を開発する必要がある。それには、鉄骨に直接高力ボルト挿入できる既存技術の改良と、布状繊維材を巻きつけることにより、緊結する方法を開発する。

技術目標値

- ・金属端子と同等の引張荷重を有するプレートにより無溶接接合する。
- ・金属端子と既存フレーム結合力 $\geq$ アラミド繊維保証部材引張力

4.多点接合端子、端子同士の接合方式の開発

工場等においては、生産設備、搬入開口、および窓等があるため、在来工法のX型ブレースでは、補強箇所によりその機能に支障をきたす。

状況に応じた空間を有効利用して補強するためには多くのバリエーションに対応するために、高強度繊維材と締結端子の1点接合技術から、多点接合締結端子を開発する。

また、長尺材の運搬時、施工時の経済性を考慮し、締結端子同士(高強度繊維材同士)の接合方法を開発する。

技術目標値

- ・多点接合端子を6ヶ所有する接合端子 $\geq$ アラミド繊維保証耐力(100KN)
- ・金属端子と同等の引張荷重、初期伸び

5.高耐食性を有する接合端子の開発

本事業で研究開発する接合用部品は、構造物の主要な部位に使われることを想定しており、構造物の平均寿命30年以上の高耐食性が必要となる。中でも、金属端子の防錆性と、高強度繊維の紫外線による劣化は、双方の短所であり、錆びない素材(ステンレス鋼、強化プラスチックなど)での接合端子の開発と、紫外線による劣化を防ぐ樹脂皮膜等の開発により、高耐食性を図る。樹脂皮膜による30年以上の耐候性の確保をするために、樹脂被膜を開発する。

技術目標値

- ・暴露試験および促進耐候性試験による対候性30年以上
- ・金属端子同等以上の締結力

【各サブテーマの技術目標値一覧】

サブテーマ	技術目標値
サブテーマ1	アラミド繊維材の伸縮率を目標値0.9%とする。(締結金物内のすべり量 $\leq$ 5.0mm)
サブテーマ2	アラミド繊維補強部材内の圧縮力負担ゼロ 20サイクル正負繰返試験後の引っ張り保証耐力減0%
サブテーマ3	金属端子と同等の引張荷重を有するプレートにより無溶接接合する。 金属端子と既存フレーム結合力 $\geq$ アラミド繊維保証部材引張力
サブテーマ4	多点接合端子を6ヶ所有する接合端子 $\geq$ アラミド繊維保証耐力(100KN) 金属端子と同等の引張荷重、初期伸び
サブテーマ5	暴露試験および促進耐候性試験による対候性30年以上 金属端子同等以上の締結力

2) 研究の概要

南海トラフ巨大地震や首都直下型地震の発生に備え、既存建築物の耐震性確保は急務である。耐震改修促進法により、小中学校、防災施設等の公共建物の耐震化率は年々上昇しているが、

民間建物では、全国平均で 61.0%に過ぎず、十分とは言えない。これは、耐震化の費用が高価なことと、耐震補強をしている期間は「住めない・利用できない・工場稼働できない」ことなどがネックとなっているからである。

また人命安全確保と二次災害防止に加え、顧客への供給責任遂行のための事業継続マネジメントシステム（BCP）への取組は企業の社会的責務となっているが、中小企業ほど、この対応が遅れている。

そこで本研究開発では、高強度と高耐久性を有した耐震補強工事を低コスト、短工期で提供し、また建物を利用しながら（例えば工場を稼働しながら）工事を行うことが可能な“耐震補強締結用部品”と“耐震補強工法”を開発する。

耐震補強に関する代表的な2つの従来技術と本研究開発を比較すると以下の通りである。

【従来技術】

1. 鉄骨部材を溶接にて接合：（耐震補強部材に丸鋼、L型鋼を使用し、取付プレートを現場溶接することで接合）

【技術の概要】

図1に示すように

梁間方向は、①方杖補強、②プレート補強

桁行方向は、③ブレース補強、④マンサード型補強

等があり、溶接により補強部材を接合する。

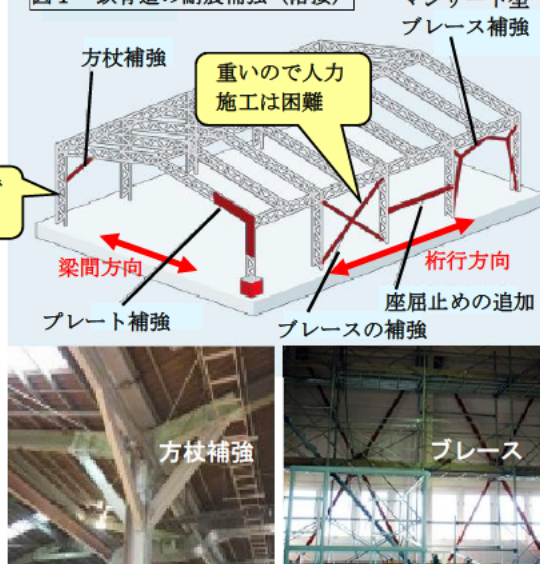
【特徴】

- ・補強部材は、丸鋼、L型鋼、鉄板等市場にあるため、高度な施工技術を要しない。
- ・強度不足部を直接補強するので、構造計算が容易である。

【課題(問題点)】

- ・取付を溶接にて行うため火気が発生するので養生が必要。
- ・部材は鉄のため、重量が重く、必要以上の補強が必要。
- ・重量物であるため人力では困難で荷揚げ、取付用設備が必要。
- ・現場施工が多いため、施工日数を要する。
- ・施工設備が必要で、工場を稼働しながら施工することは困難。

図1 鉄骨造の耐震補強（溶接）



2. 接着+ボルトによる補強：（耐震補強部材に丸鋼、L型鋼を使用し、取付プレートを接着+ボルトで接合）

【技術の概要】

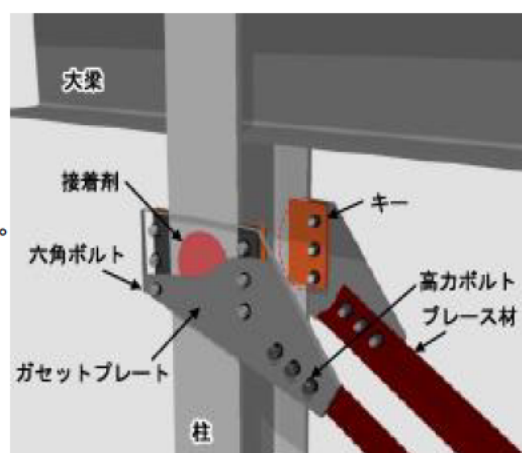
図2に示すように、①の耐震補強部材（丸鋼、L型鋼）を接着剤とボルトを使用して、既存鉄骨に接合する。

【特徴】

- ・溶接を使用しないため、火気養生が不要である。
- ・ボルト穴やプレートは工場加工が可能なので、工期短縮が可能。
- ・接合部の品質が溶接に比べ安定している。

【課題(問題点)】

- ・部材は鉄のため、重量が重く、必要以上の補強が必要。
- ・重量物であり人力施工は困難で荷揚げ、取付用設備が必要。
- ・現場施工が多いため、施工日数を要する。
- ・施工設備が必要で、工場を稼働しながら施工することは困難。



【新技術】

【技術の概要】

右図のように

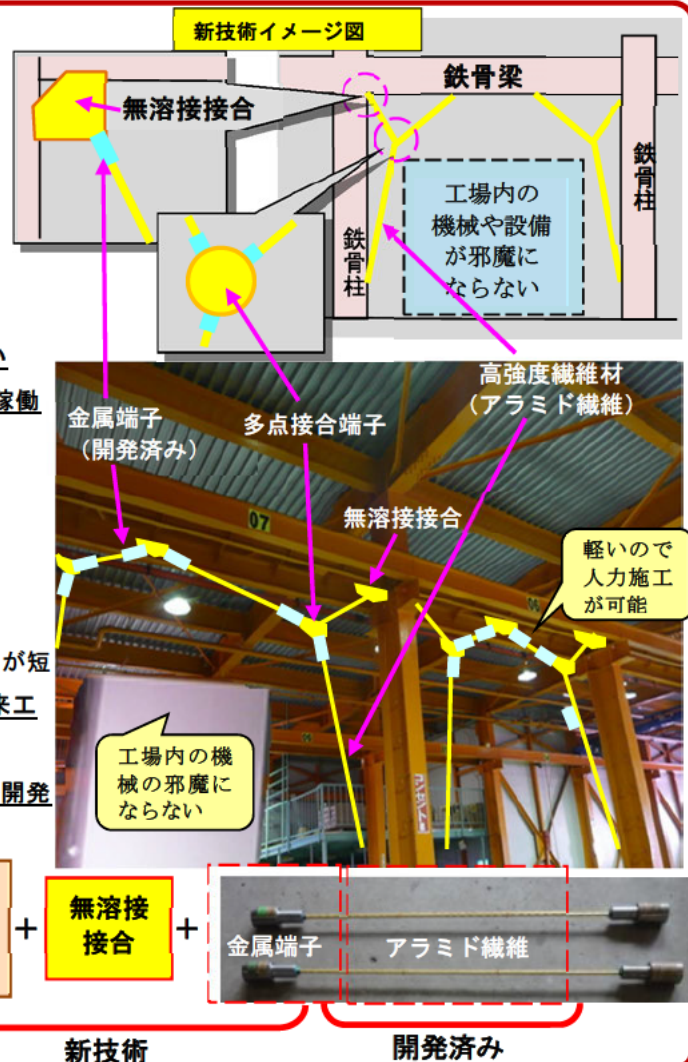
- ・補強部材に高強度繊維材(アラミド繊維)を用いる
- ・鉄骨には金属端子を介して無溶接で接合する

【特徴】

- ・高強度、低コスト、短工期を実現。
- ・アラミド繊維は高強度(引張強度が鉄筋の 5.5 倍)
→したがってプレースのように対角で設置しなくてよい
→これにより工場内の機械等の邪魔にならず、工場稼働中でも施工が可能
- ・アラミド繊維は軽量(重量が鉄筋の 1/6)
→これによって、人力施工が可能
- ・アラミド繊維は加工しやすい
- ・アラミド繊維は他の繊維材に比べて 20%程度安価
- ・アラミド繊維は鉄に比べて材料は高いが、施工期間が短いことや人力施工が可能で全体工事費は従来工法よりも 33%安い
- ・既に右図の金属端子とアラミド繊維との締結技術を開発済みで、出願済み(特願:No.2014-110872)

【効果】

- ・耐震化が加速する
- ・BCP が確立できる
- ・災害に強い社会ができる



3) 実施内容

① 【1. プレテンション機能付端子の開発】

(実施者: 佐伯総合建設株式会社、学校法人名古屋電気学園愛知工業大学)

地震発生時の水平力を瞬時に耐震補強部材に負担させるための課題

(平成 26 年度の実施内容)

すでに開発済の金属端子を使用し、すべり量を減少(無くす)するために 10KN のプレテンションを付与させる、または、金属締結端子内の“すべり”を 5.0mm 以下に抑える必要があることを実験データ分析により検証した。

(平成 27 年度の実施内容)

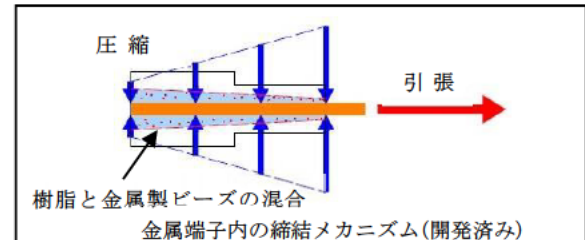
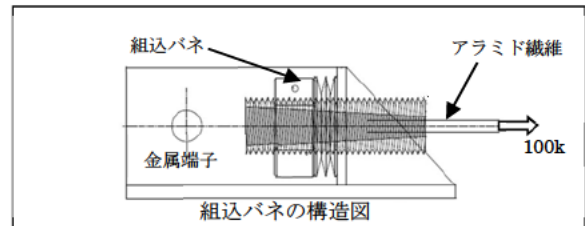
金属締結端子内に混入する金属製ビーズ種(7種)、及び金属締結端子内の円錐形状(3種)によりこの“すべり”量に与える影響を磁気式疲労耐久試験機実験により佐伯総合建設がデータ検証し、愛知工業大学山田先生に評価をして頂いた。

(平成 28 年度の実施内容)

①H28 年度はこれら影響を与える要素を最適化するために引張り試験を磁気式疲労耐久試験機(H26 年度購入)により実施する。(金属端子形状3種類×混入ビーズ種7種類)また、これら金属締結端子内の改良のみでは、“すべり”量を技術目標値である 5.0mm 以下には出来ないことが検証されているため、(かしめ力が働くまでにはプレテンションが必要)②H27 年度に実施設計を行い、試作品を製作した金属締結端子(ボルト式)にてプレテンションを付与させ端子内部で発生する“すべり”による水平力伝達のタイムラグを解消させた。

及び、③エポキシ樹脂メーカー(アルテコ)とのヒアリングにて判明した、アラミド繊維を含浸させている樹脂と混入樹脂の接着力の最適化をメーカー実験(樹脂同士の接着力試験)にて検証した。

これら3項目の検証実験を実施した後、H28 年度改造のフレーム実験装置にて複合データを分析した。



②【圧縮力の逃し方の技術の開発】

(実施者：佐伯総合建設株式会社、学校法人名古屋電気学園愛知工業大学)

圧縮力が、アラミド繊維材の耐震補強部材に働かないようにする必要がある。

(H26年度の実施内容)

図1に示すアラミド繊維ロッド材の一部に未含浸部を設けた繊維材と、図2に示す変形性能を有するエポキシ樹脂にて含浸させた繊維材の試作品を製作した。

(H27 年度の実施内容)

H26 年度に試作した図1(未含浸部を設けた試作品)と図2(変形性能を有するエポキシ樹脂にて含浸させた繊維材の試作品)の引張強度確認試験を磁気式疲労耐久機にて実施した。この実験で取得したデータを元に愛知工業大学山田先生にて、評価、助言を頂き、現段階では課題が多いため採用を見送ることとした。また、アラミド繊維メーカー規格品のフレキシブルタイプにて正負繰返試験を 12 サイクル実施した。結果、グラフに示すように圧縮力を繰返し加えてもアラミド繊維補強部材内の圧縮力負担ゼロを確認することが出来た。

(H28 年度の実施内容)

H27 年度に技術目標値①のアラミド繊維補強部材内の圧縮力負担ゼロを達成でき、尚且つ 12 サイクルの正負繰返試験において引張保証耐力減0%を達成したため、同様にして 20 サイクルの正負繰返試験を実施し、引張保証耐力減0%を検証した。その後、フレーム実験装置にて複合データを取得し、データ分析を愛知工業大学山田先生に助言を頂きながら課題を解決した。

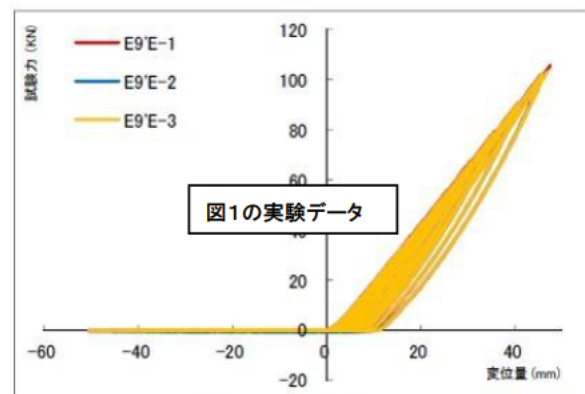
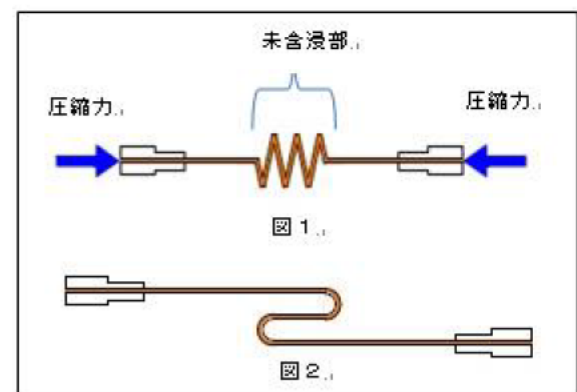
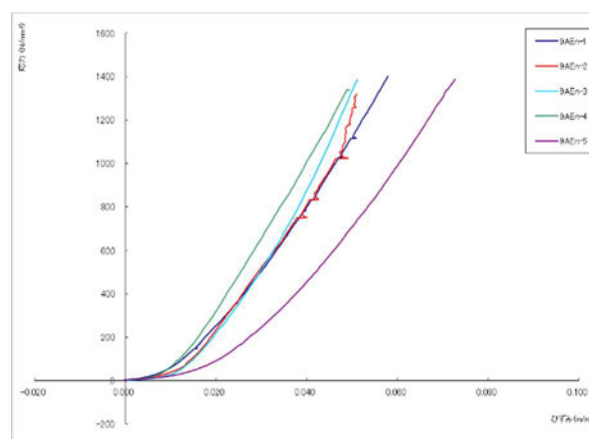


図. 1 E9'E-1



③【既存鉄骨への無溶接接合技術の開発】

(実施者：佐伯総合建設株式会社、学校法人名古屋電気学園愛知工業大学)

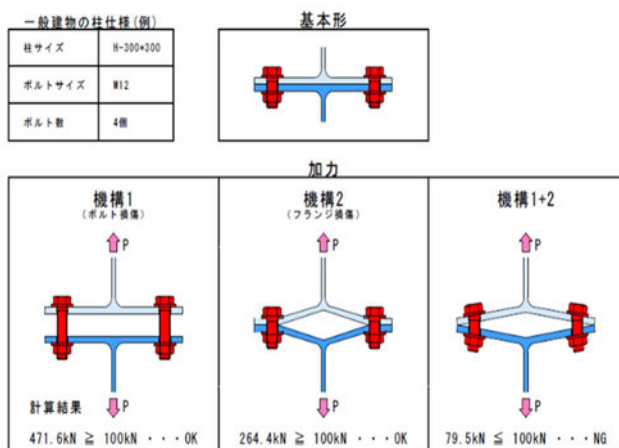
商品の付加価値を高めるため、民間鉄骨造建物の耐震化を妨げている理由のひとつである、“既存建物と耐震補強部材を無溶接接合で取り付けする方法”を開発する必要があり、高強度を有するアラミド繊維による補強部材(アラミド繊維と金属端子)を溶接しないで鉄骨に接合する技術を開発する。

(H26 年度実績)

①既存鉄骨とアラミド繊維を使用した耐震補強部材によるボルト接合による設計を実施し、愛知工業大学山田先生に助言を頂き、施工性を検証した。②また、新たにダイレクトボルト接合(仮称：事前に削孔せず、削孔しながらボルトを打ち込む)技術を応用し、ボルトメーカーと協議の上、試作品を製作した。

(H27年度実績)

- ①H26 年度に試作したダイレクトボルト(仮称)の強度確認試験を実施したが、佐伯総合建設が要求する強度を確保することは出来なかった。開発課題が多く愛知工業大山田先生の助言を受け、本研究期間で課題解決は不合理と判断し、ダイレクトボルトの開発は一時見送ることとした。
- ②佐伯総合建設がボルト接合による強度確認構造計算を実施し、計算結果を愛知工業大学山田先生に評価して頂いた。ボルト接合による強度が、耐震補強部材の保証耐力より大きいことが判断出来た。
- ③ボルト接合による施工性を検証した場合、高力ボルト(HTボルト)のように、ボルト+ナットによる組み合わせは施工条件が限定されるため、片側施工高力ボルト(NETIS登録)による施工性、強度をメーカーとのヒアリングで確認した。



構造強度検証



片側施工用高力ボルト

(H28 年度実施内容)

①片側施工用高力ボルトの性能検証をH26 年度購入の磁気式疲労耐久機により偏角方向の引張試験を実施し、愛知工業大学山田先生にデータ評価をしていただいた。②その後、愛知工業大学耐震試験設備にて、1/5 スケールフレーム実験装置に取り付け、複合的なデータを取得し、分析することで、強度、性能を実証した。実証するためには、愛知工業大学山田先生に助言を頂く。また、このフレーム実験で、計算値との整合性を検証し、全体強度の確認をした。

④【多点接合端子、端子同士の接合方式の開発】

(実施者: 佐伯総合建設株式会社、学校法人名古屋電気学園愛知工業大学)

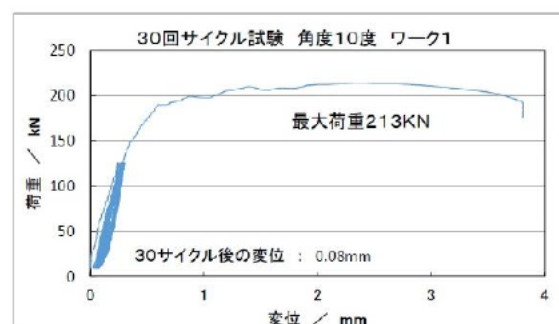
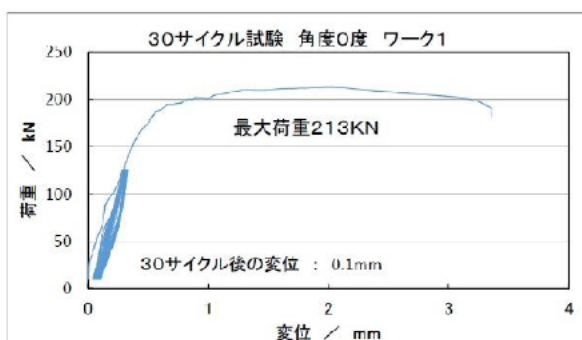
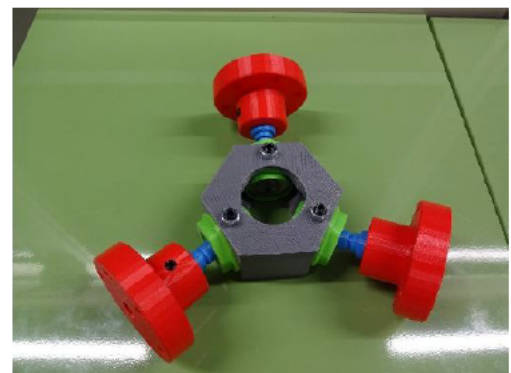
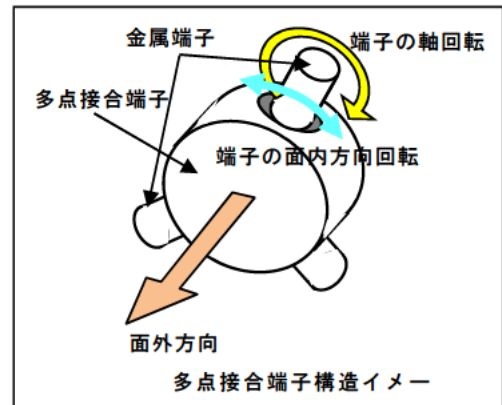
多様なブレースバリエーションに対応するため、多点接合端子の開発が必要だが、引張力が加わった際に、金属端子に垂直に応力が伝達できないとモーメントが生じ、端子の形状変形原因となる(締結力が発揮できない)。そこで、多点接合端子を可動式とすることで、引張力が常に垂直に働くよう回転性能を有する端子を開発する。

(H26 年度実績)

ボールベアリングの技術を活かし、軸力方向、面外方向とも自在に回転出来る(可動式)端子を開発し、ベアリングメーカーにて強度確認実験を実施し、取得したデータを佐伯総合建設が愛知工業大学山田先生の助言を受け、分析した。

(H27 年度実績)

①試作した可動式接合端子の垂直方向、偏角(10 度)方向の引張強度確認試験をベアリングメーカーにて実施し、取得したデータを佐伯総合建設が愛知工業大学山田先生の助言を受け、分析した。②また、可動式接合端子の開発技術により、3 点接合端子の実施設計を行い、3Dプリンターにて模型を製作し、施工性、機能性を確認した後、試作品を製作した。③また、試作品をH27 年度購入したフレーム実験装置(ピン接合)に取り付け、愛知工業大学の耐震施設を利用し、強度、性能検証実験を実施した。



(H28 年度実施内容)

①H27 年度末に実施したフレーム装置実験のデータ分析を行い、強度、性能を検証した。②また、今回の試作品は要求強度以上の強度(213kN $\geq$ 100kN)を保持しているため、軽量化、低コスト化のために佐伯総合建設が愛知工業大学山田先生の助言を頂き、改良タイプの実施設計を行った。③さらに、3点接合端子を用いて、H28 年度改造のフレーム実験装置にて、強度、機能検証実験を行った。

【STEP 1（サブテーマ1・2・4）複合検証】

（H27 年度実績）

サブテーマNO	技術目用地	H27 年度達成状況	H28 年度達成状況
サブテーマ1	・アラミド繊維材の伸縮率を目標値 0.9%とする。(締結金物内のすべり量 $\leq 5.0\text{mm}$)	締結端子内すべり $7.04\text{mm} \geq 5.0\text{mm}$	締結端子内すべり $4.99\text{mm} < 5.0\text{mm}$ OK.
サブテーマ2	・アラミド繊維補強部材内の圧縮力負担ゼロ ・20 サイクル正負繰返試験後の引っ張り保証耐力減0%	アラミド繊維補強部材内の圧縮力負担ゼロ→達成 ・12 サイクル正負繰返試験後の引っ張り保証耐力減0%→達成	アラミド繊維補強部材内の圧縮力負担ゼロ→達成 ・20 サイクル正負繰返試験後の引っ張り保証耐力減0%→達成
サブテーマ4	・多点接合端子を6ヶ所有する接合端子 $\geq$ アラミド繊維保証耐力(100KN)	・多点接合端子を3ヶ所有する接合端子 $\geq$ アラミド繊維(9φ)保証耐力(100KN)	・多点接合端子を3ヶ所有する接合端子 $\geq$ アラミド繊維(13φ)保証耐力

H27 年度は上記表の達成状況となり、これらの技術を複合させたフレーム装置実験（H27 年度購入）を愛知工業大学耐震施設を利用して、山田先生より、実験方法、データ取得要因等の助言を受け実施した。
H28 年度は上記表の達成状況となり、これらの技術と複合させたフレーム装置実験（H28 年度改造）を愛知工業大学耐震施設を利用して、山田先生より、実験方法、データ取得要因等の助言を受け実施した。



⑤【高耐食性を有する接合端子の開発】

（実施者：佐伯総合建設株式会社、学校法人名古屋電気学園愛知工業大学）

アラミド繊維の特徴である“非電導性”“防錆性”を活かし、他分野での商品化（吊橋メッセンジャーワイヤー、土留め壁アースアンカー等）を実現するために繊維材を使用した締結端子の開発が必要となる。

（H26 年度実績）

専門家（岐阜大学教授）との情報交換、情報収集→佐伯総合建設が要求する繊維材による締結端子の開発の可能性については、可能であるとの判断をして頂いた。）

（H27 年度実績）

専門メーカー（経済産業省主催で発行されている“炭素繊維技術シーズ集”より）との情報交換、情報収集→繊維メーカーにおいても、繊維材の特徴を最大限に発揮すべく他分野にも進出、商品化を目指しており、双方のニーズが一致した。

（H28 年度実績）

専門メーカー（タツミ化成株）との情報交換・ヒアリングを実施した。

⑥プロジェクトの管理・運営

（実施者：公益財団法人岐阜県産業経済振興センター）

プロジェクトに係る研究開発の進捗管理及び経理処理等を行い、研究開発委員会の運営、事業報告書の作成等の研究開発の全体管理・運営を行うとともに、研究実施企業に対して川下企業ニーズと提供する等事業化を支援した。

4) 所在地

①事業管理機関

公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

(最寄駅：東海旅客鉄道 東海道本線西岐阜駅)

住所：〒500-8505 岐阜県岐阜市藪田南5丁目14番53号

②研究実施場所

佐伯綜合建設株式会社

(最寄駅：太田本線 美濃川合駅)

住所：〒509-0302 岐阜県加茂郡川辺町上川辺1643

学校法人名古屋電気学園 愛知工業大学

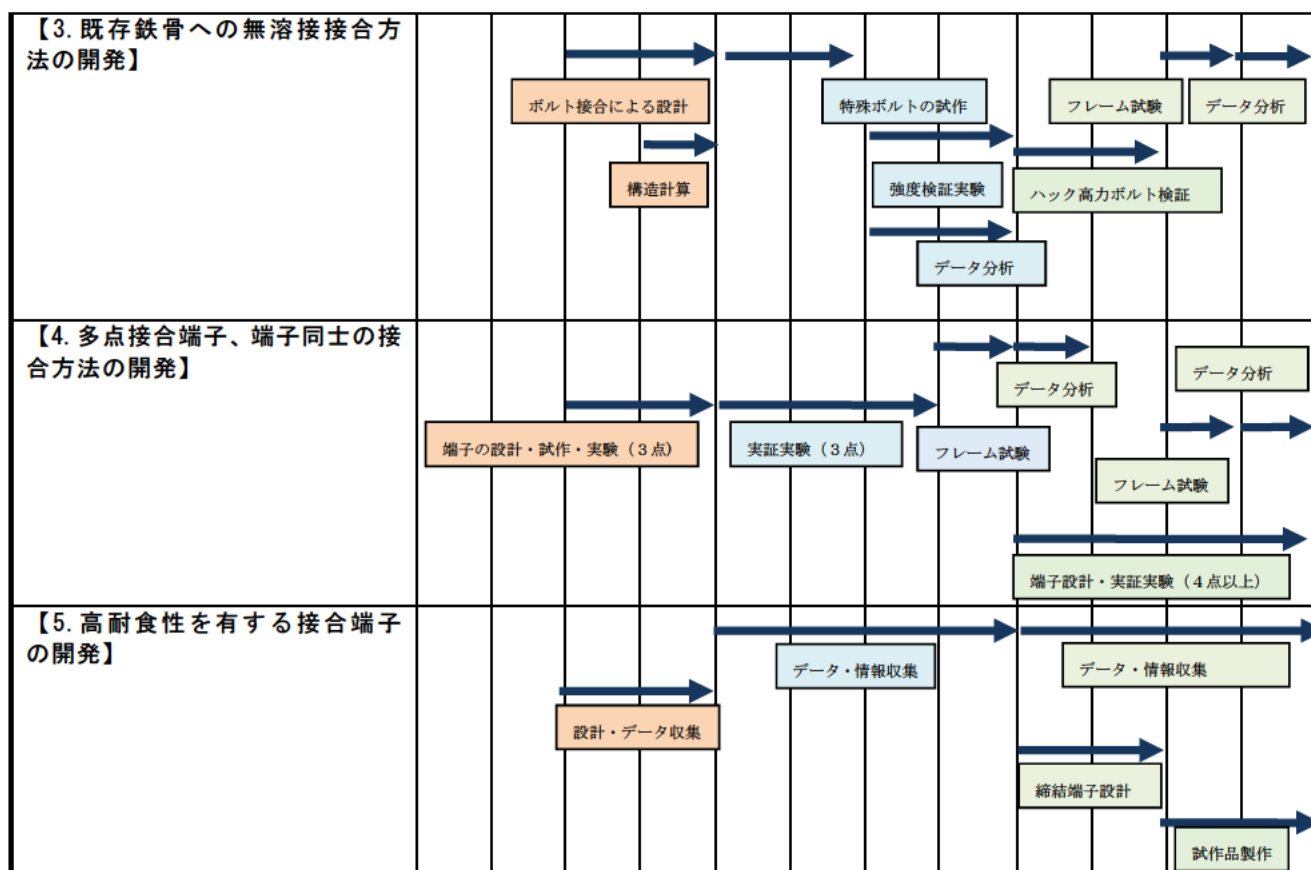
(最寄駅：愛知県環状鉄道・愛知高速交通 八草駅)

住所：〒470-0392 豊田市八草町八千草1247

(2) 事業期間 平成 29 年 3 月 31 日まで

(3) 実施計画日程

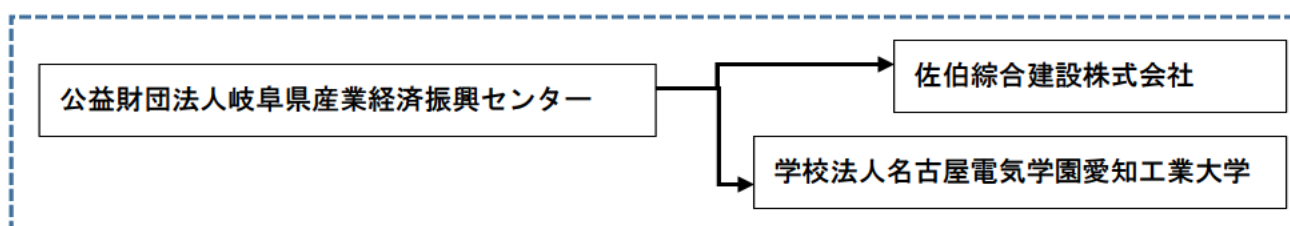
研究実施スケジュール												
【番号】実施内容	実施時期											
	初年度			第二年度				第三年度				
	4月 ～ 6月	7月 ～ 9月	10月 ～ 12月	1月 ～ 3月	4月 ～ 6月	7月 ～ 9月	10月 ～ 12月	1月 ～ 3月	4月 ～ 6月	7月 ～ 9月	10月 ～ 12月	1月 ～ 3月
研究開発等の年度目標												
【1. プレテンション機能付端子の開発】												
【2. 圧縮力の逃し方の技術開発】												



1-2 研究体制

（１）研究組織及び管理体制

1）研究組織（全体）



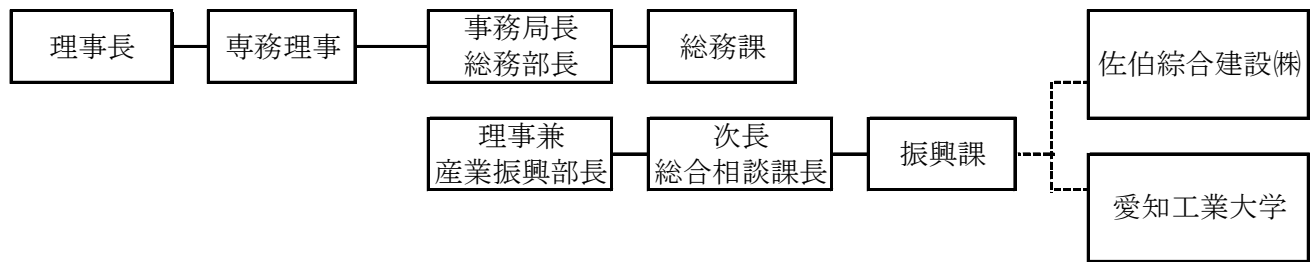
統括研究代表者（P L）
 所属：佐伯総合建設株式会社
 役職：開発技術部長
 氏名：辻 博久

副統括研究代表者（S L）
 所属：学校法人名古屋電気学園
 役職：耐震実験センター長
 氏名：山田 和夫

2) 管理体制

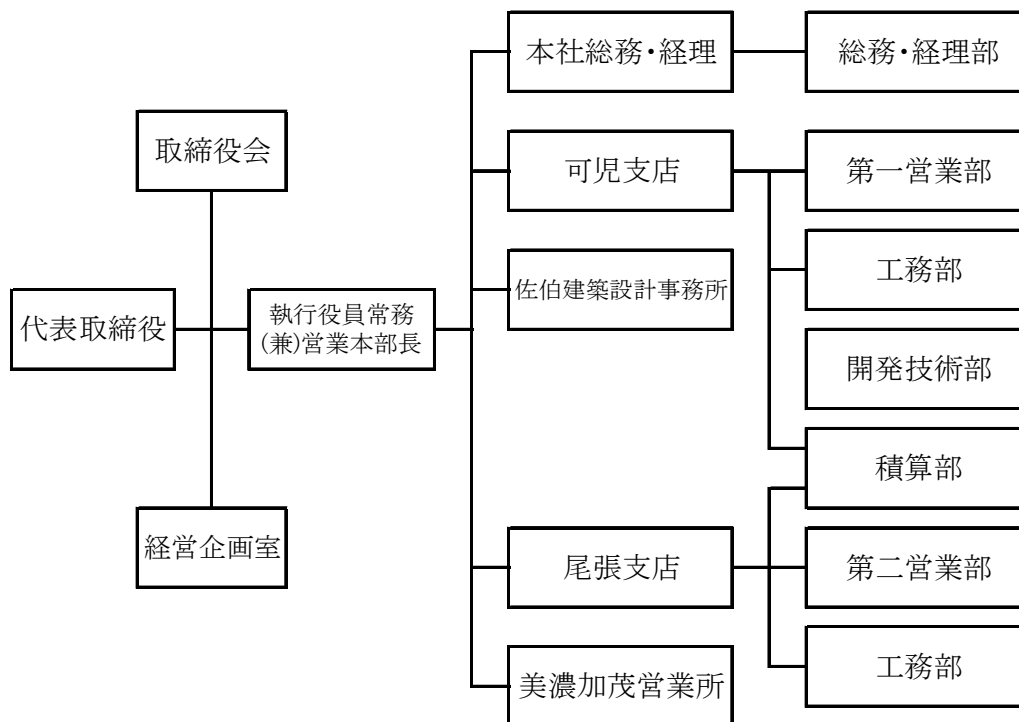
①事業管理機関

公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

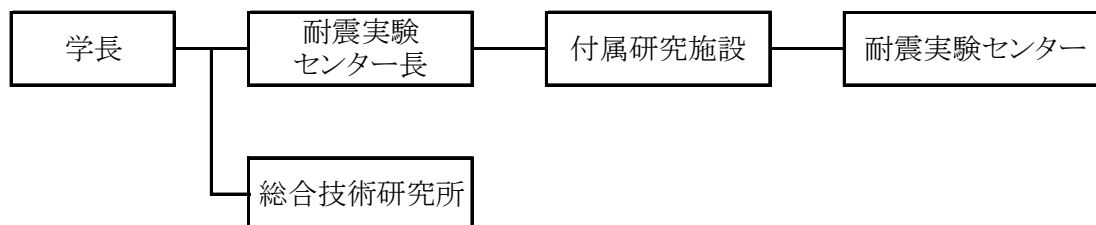


②（研究実施者）

佐伯総合建設株式会社



学校法人 名古屋電気学園 愛知工業大学



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

管理員

氏 名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
柴田 英明	理事兼産業振興部長	⑥
山田 博義	産業振興部次長兼総合相談課長	⑥
野口 昌良	産業振興部振興課長	⑥
小川 誠	産業振興部振興課統括主査	⑥
戸松 薫	産業振興部振興課主事	⑥
北島 正幸	産業振興部振興課管理員	⑥
戸崎 康成	産業振興部振興課管理員	⑥
芳岡 康郎	産業振興部振興課管理員	⑥
國枝 信男	産業振興部振興課管理員	⑥

【研究実施者】

研究員

佐伯総合建設株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
辻 博久	開発技術部長、可児支店 執行役員支店長	①②③④⑤
伊藤 次郎	開発技術部 担当	①②③④⑤
大島 哲弘	工務部 課長	①②③④⑤
後藤 賢二	工務部 係長	①②③④⑤
三輪 圭太	佐伯建築設計事務所 担当	① ②③④⑤

学校法人名古屋電気学園愛知工業大学

氏 名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
山田 和夫	工学部建築学科教授、耐震実験センター長	① ②③④⑤

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

事業管理者：公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

(経理担当者) 総務部総務課 足立 良介

(業務担当者) 産業振興部 山田 博義

研究実施者

佐伯総合建設株式会社

(経理担当者) 白岩

(業務管理者) 開発技術部長 辻 博久

学校法人名古屋電気学園 愛知工業大学

(経理担当者) 足立 由美子

(業務管理者) 耐震実験センター長 山田 和夫

(4) その他

なし

1-3 成果概要

技術的目標値の達成状況は以下の通り

サブテーマ	技術目標値	達成状況
①サブテーマ 1	アラミド繊維材の伸縮率を目標値 0.9%とする。(締結金物内のすべり量 $\leq$ 5.0mm)	達成
②サブテーマ 2	アラミド繊維補強部材内の圧縮力負担ゼロ 20 サイクル正負繰返試験後の引っ張り保証耐力減0%	達成
③サブテーマ 3	金属端子と同等の引張荷重を有するプレートにより無溶接接合する。 金属端子と既存フレーム結合力 $\geq$ アラミド繊維保証部材引張力	達成
④サブテーマ 4	多点接合端子を 6ヶ所有する接合端子 $\geq$ アラミド繊維保証耐力(100N) 金属端子と同等の引張荷重、初期伸び	達成 (多点接合端子は 3箇所に変更)
⑤サブテーマ 5	暴露試験および促進耐候性試験による対候性30年以上 金属端子同等以上の締結力	メーカーとの情報 交換・ヒアリング

④サブテーマ 4 多点接合端子の開発において当初は、ブレースバリエーションの豊富な対応を目指し 5 点接合端子の開発を目標に挙げたが、アラミド繊維を耐震補強部材に採用した耐震補強工法に於いて、母材の持つ特徴を最大限に発揮するブレースバリエーションは 3 点接合が最適と判断し、達成目標を 3 点とした。

⑤サブテーマ 5 の達成状況はメーカーとの情報交換と情報収集にとどまりますが、このテーマは本工法が完成した後のさらなるグレードアップを狙ったものであり、本工法の“非電導性”を生かすために、樹脂製接合端子を開発することで他分野での応用を期待する。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター 産業振興部

技術開発支援担当

氏名 戸松 薫

電話 058-277-1093

FAX 058-273-5961

E-mail:tomatsu_at_gpc-gifu.or.jp(at_は@に変換)

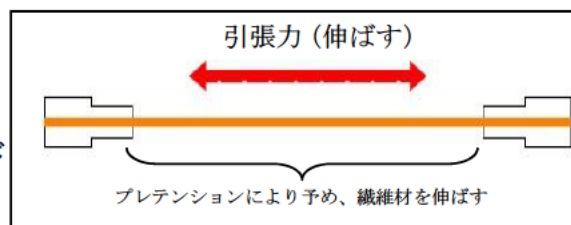
第2章 本論

2-1：サブテーマ1（プレテンション機能付端子の開発）

（実施者：佐伯総合建設株式会社、学校法人名古屋電気学園 愛知工業大学）

（1）研究目的

本研究開発において、地震発生時、地震力を既存鉄骨フレームに負担をさせることなく、耐震補強部材に伝達させる必要があるが、アラミド繊維ロッドは、引張力が加わった場合、耐力を発揮するまでに



その特性上全長に対し、1.2%程度伸縮（伸びる）する。また、締結端子内のスチールビーズによる締結力（カシメ効果）が発揮されるまでに金属端子内で変位が生じる。この滑りはブレースにとっては悪い影響を与えるため最大限減らす努力が必要となる。本開発ではこの滑り量を5.0mm以下と定め端子内容物の検討とプレテンション導入が可能な端子を開発することで目標を達成する。

（2）研究内容

1. 金属締結端子内混入エポキシ金属締結樹脂の最適化

金属締結端子内に混入させるビーズを変更した試験を多数実施し最適な端子形状、及びビーズ種類の配分を決定した。また、端子内に注入するエポキシ樹脂の試験も実施し、付着応力度と圧縮応力度が適した樹脂の開発をした。



開発金属端子F1（穿孔穴大・全長大）

サンドブラスト 3mm	20度	-	7.32	6.08	7.34	5.32	6.86	6.58
	補正值			6.76	8.15	5.91		
	破壊モード	A	40	0	0	0	0	
		B	60	0	0	20	0	
		C	0	90	90	70	100	
		D	0	10	10	10	0	
	40度	-		5.96	6.10	6.40	5.20	5.91
	補正值			6.62	6.78	8.00	6.50	
	破壊モード	A		0	0	10	0	
		B		0	0	10	20	
		C		90	90	60	60	
		D		10	10	20	20	
	80度	-	7.10	7.84		5.52	8.96	7.35
	補正值		7.89			6.13		
	破壊モード	A	20	70		10	10	
		B	10	0		40	0	
		C	60	30		40	90	
		D	10	0		10	0	

エポキシ樹脂養生環境（温度）による付着許容応力度検証実験結果

							N/mm2
硬化条件		1	2	3	4	5	平均
引張り強度	20度	22.32	30.93	33.93	29.99	27.53	28.94
	破壊モード	B	B	B	B	B	
	40度	68.24	56.46	54.48	57.21	60.58	59.39
	破壊モード	C	A	C	A	C	
	80度	54.63	55.55	58.90	55.10	60.13	56.86
曲げ強度	破壊モード	B	B	C	C	C	
	20度	80.6	85.35	92.78	71.92	69.02	79.93
	破壊モード	B	B	C	C	C	
	40度	102.40	74.56	103.20	102.10	104.60	97.37
	破壊モード	C	C	A	A	A	
	80度	72.44	107.00	105.00	92.70	92.69	93.97
	破壊モード	A	C	C	B	C	

エポキシ樹脂養生環境（温度）による強度検証実験結果

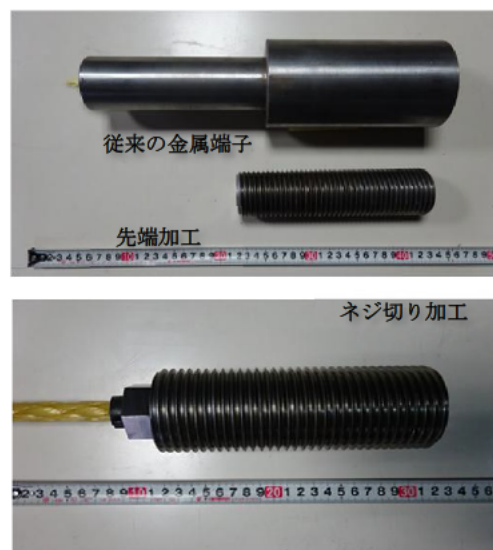
2. 金属締結端子の内部形状の最適化

金属締結端子形状を変更した試験を多数実施しデータを取得し分析することで、穿孔穴が大きく、かつ 端子全長が大きい端子が滑り量低減に最も効果があることを検証した。

3. プレテンション導入が可能となる金属締結端子の開発

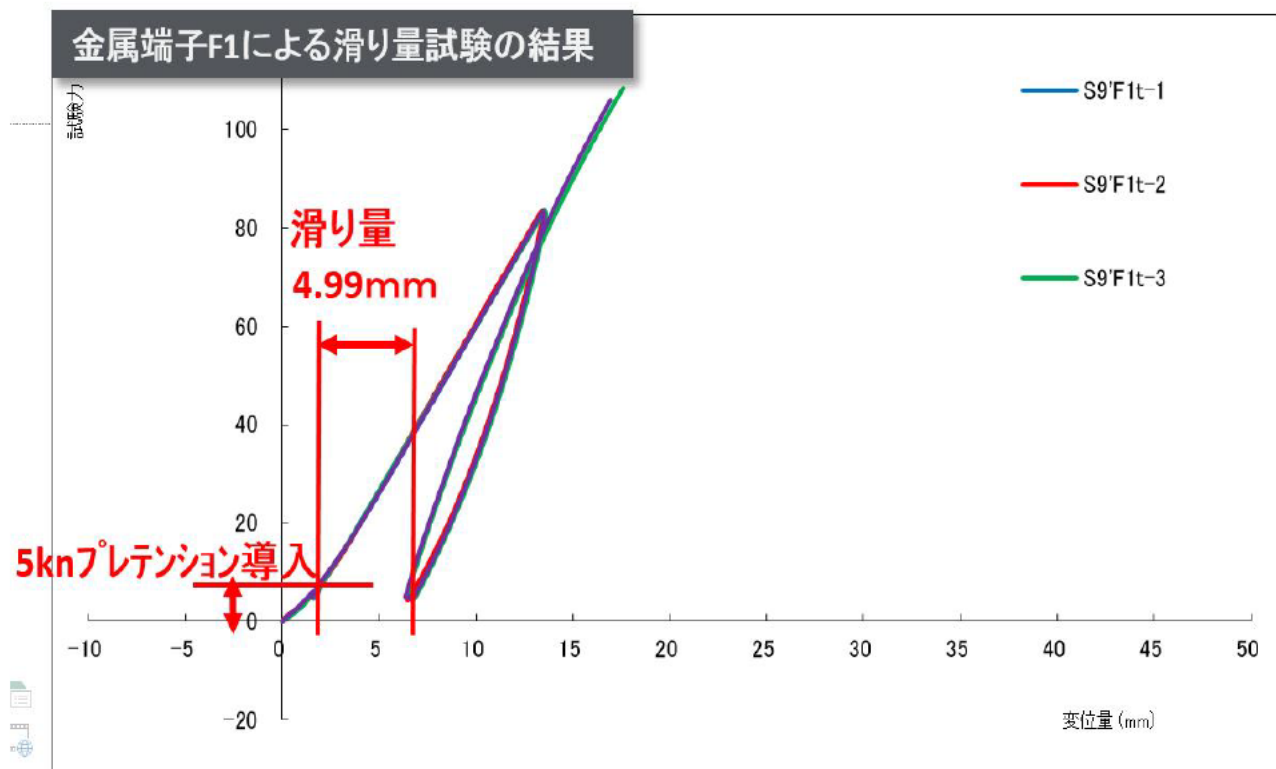
初期滑りの低減確認プレテンション導入が可能となるようにボルト式の端子を開発した。

また、トルレンチでの締め付けが可能のように先端部分に加工を施した端子を開発した。



開発金属締結端子の滑り量確認試験結果

試験体名	①	②	③	平均
最大引張力(kN)	110.44	106.47	108.41	108.44
最大引張力時の変位(mm)	16.01	15.21	15.40	15.54
すべり量	4.83	4.91	5.23	4.99



(3) 研究成果

以上の結果により、本研究開発の課題の目標値のひとつである《金属締結端子内すべり量 ≤ 5.0 mm》を達成した。

1. プレテンションの導入

金属締結端子の外観形状をボルト式とすることで、取付時、5KNのプレテンションを付加させることが可能になった。また、経年によるリラクゼーションに対し、定期的にトルクを管理することで、長期間性能を保持することが可能となった。

2. 金属締結端子内の形状

金属締結端子内部形状をパターン毎に分類しデータ分析したことで、穿孔径と端子長の関係が解明し、アラミド繊維径による最適金属締結端子形状が、決定出来るようになった。

2-2：サブテーマ2（圧縮力の逃し方の技術の開発）

（実施者：佐伯総合建設株式会社、学校法人名古屋電気学園 愛知工業大学）

(1) 研究目的

高強度繊維材は、引張力には高性能を示すが、圧縮力に対しては耐力を期待出来ず座屈する。そのため耐震補強部材に圧縮力が作用した場合、そのテンションを逃がす必要がある。樹脂の一部に未含浸部分を有するロッドはその部位にて引張り耐力が低下するため、ロッド全体に柔軟性を有する樹脂を含浸させたロッドを用いることで圧縮力を100%逃しながら本来アラミド繊維が有する引張強度を最大限に発揮することを目的とする。

(2) 研究内容

1. 圧縮力負担ゼロ

新規開発した2液性エポキシ樹脂により含浸したアラミド繊維ロッドと、メーカー規格品であるフレキシブルタイプの圧縮試験を実施し分析することで、圧縮力負担のゼロを確認した。（下表）

2. 20 サイクル正負繰返試験後の20 引張保証耐力減0%

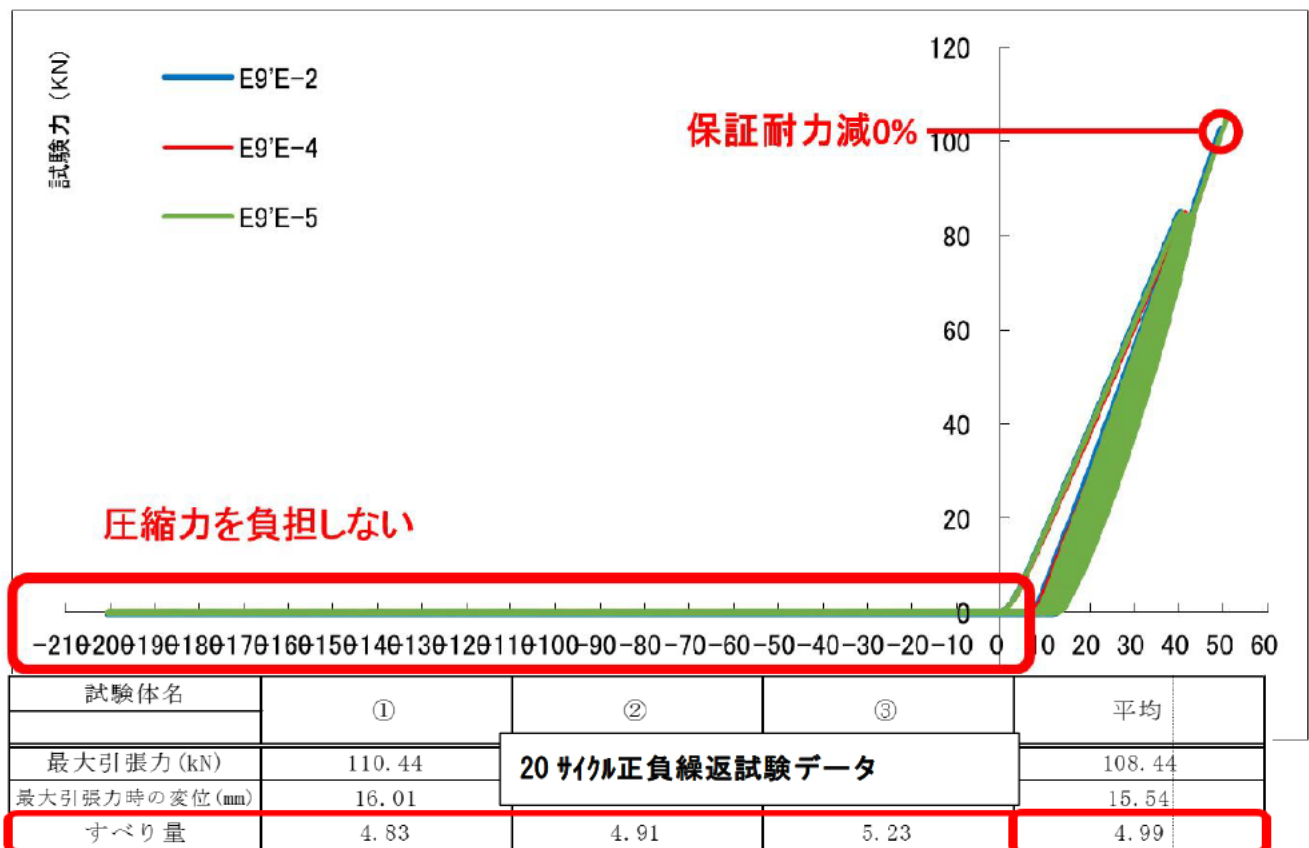
20 サイクル正負繰返試験を実施し、最後に母材が破断するまで引張る試験を実施することで20 サイクル正負繰返試験後の20 引張保証耐力減0%を確認した。（下表）

3. 可能な曲げ半径の確認

圧縮試験において測定したたわみ量から、計算により母材の性能に影響を与えない曲げ半径を算出した。（最大曲げ半径：1m25cm、上写真）



20 サイクル正負繰返試験 試験実施状況



20 サイクル正負繰返試験 試験結果

(研究成果)

以上の結果により、本研究開発の課題の目標値のひとつである
《アラミド繊維（耐震補強部材）への圧縮力負担ゼロ》を達成した。

1. 圧縮力負担ゼロ

柔軟性を有した2液性エポキシ樹脂をメーカー協力の下、開発したが、経年劣化による保証、及び均一データが取得出来なかったことから、採用を断念したが、メーカー規格品のフレキシブルタイプによる実験結果が、机上分析結果より、有意なデータを取得することが出来たため、今回採用した。

2. アラミド繊維ロッド（フレキシブルタイプ）の最小曲げ半径の確認

アラミド繊維ロッド本体が有する性能を、維持することが出来る最小曲げ半径は、1.25mとなった。これにより、工場加工した製作物（耐震補強部材本体）の運搬について、長尺物の移動が不要となりコスト低減にも繋がる結果となった。

2-3：サブテーマ3（既存鉄骨と金属締結端子の無溶接接合技術の開発）

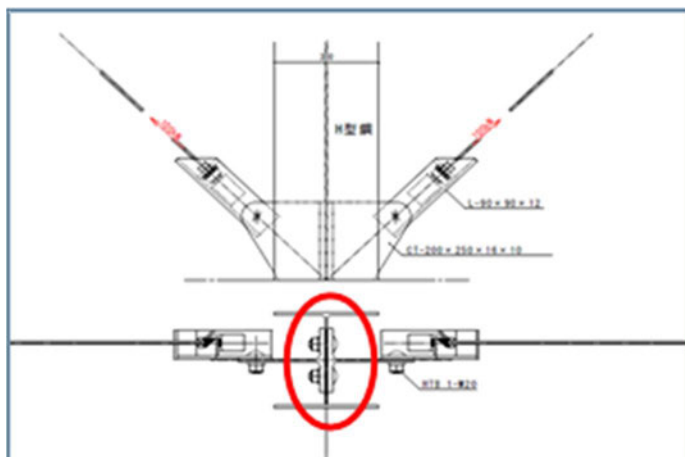
（実施者：佐伯総合建設株式会社、学校法人名古屋電気学園 愛知工業大学）

（1）研究目的

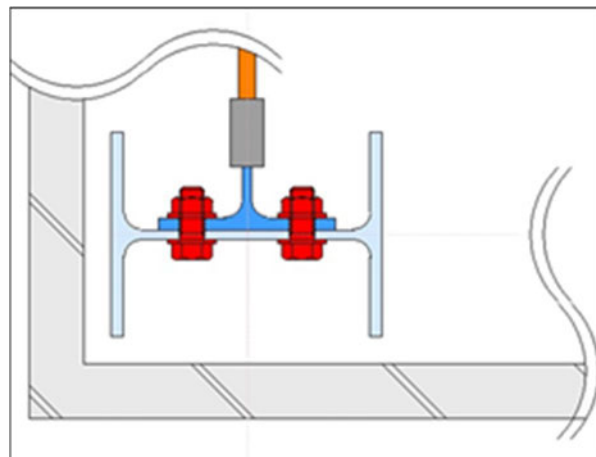
高強度を有するアラミド繊維による補強部材（アラミド繊維と金属端子）を使用した耐震補強工法は、“既存鉄骨フレームへの無溶接接合”が商品としての付加価値に大きく影響を及ぼすため、金属締結端子と既存鉄骨の接合を無溶接とすることを目的とする。

（２）研究内容

市販のハイテンションボルトによる既存鉄骨フレームへの無溶接接合方法の施工は、検証出来ている。（下図１）しかし、ハイテンションボルトを緊結するためのスペースが必要となり、下図２のような場合は施工不可となり、耐震補強部位が制限され、施工条件が拘束される。よって片側のみの施工に対応出来る接合方法を検証すること必要がある。



下図１：ハイテンションボルトによる耐震補強部材の無溶接

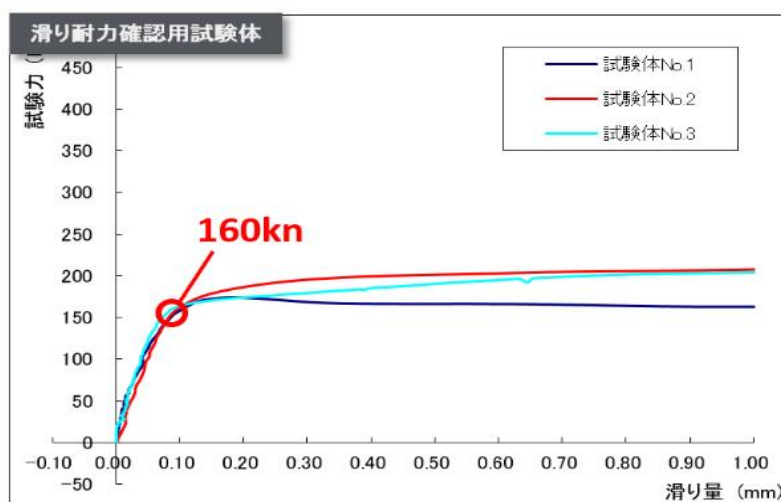


下図２：コーナー部への無溶接接合（施工不可）

市場調査の結果、片側施工高力ボルト（NETIS 認定品）の存在が分かった。ただし、この片側施工高力ボルトは、せん断力に対する規格品であるため、本研究開発の耐震補強工法で使用する垂直引張力、偏角引張力に対する検証が必要となり、３種類の性能確認試験（滑り耐力確認試験、離間荷重確認試験、偏角許容耐力確認試験）を行った。さらに、片側施工高力ボルトを用いた使用した耐震補強部材のフレーム装置実験（ピン接合）を実施した。（３種類の性能確認試験全ての結果が耐震補強部材の耐力を上回る場合のみ必要保有耐力を有すると判断できる。）

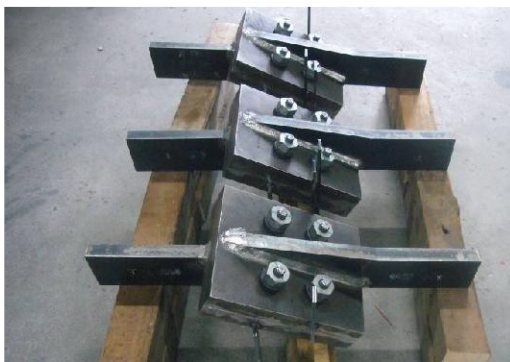
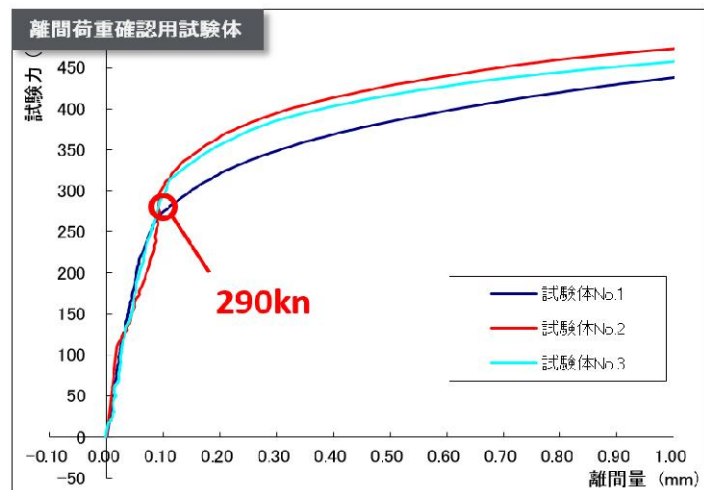


滑り耐力確認試験/データ

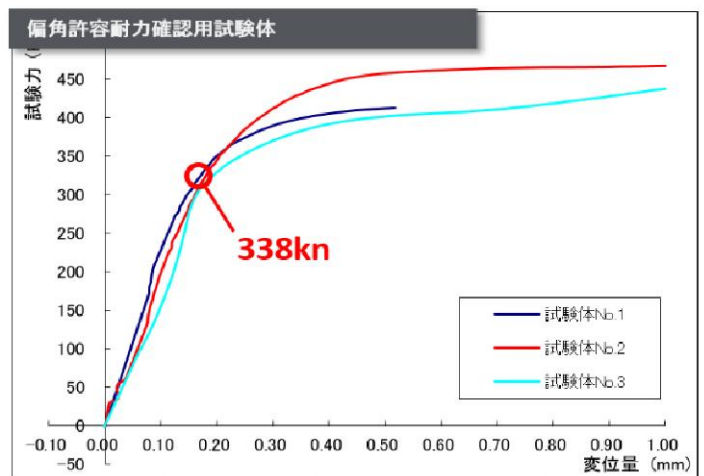




離間荷重確認試験/データ



偏角許容耐力確認試験



(3) 研究成果

以上の結果により、本研究開発の課題の目標値のひとつである
《既存鉄骨と金属締結端子の無溶接接合》を達成した。

既存鉄骨と金属締結端子を“溶接”により接合しても耐震補強工法としては、成立するが、“商品化”として捉えた場合、在来耐震補強工法との差別化を図る必要があった。また、補強部材本体のみでコスト算定すると、本研究開発耐震工法は約3倍となり、トータルコスト（既存鉄骨への取付費、仮設養生費、施工期間）削減するためにも、クリアすべき課題であった。市販の特殊ボルト（片側施工高力ボルト）の採用、検証により、この課題を解決することが可能となった。

2-4：サブテーマ4（3点接合端子の開発）

（実施者：佐伯総合建設株式会社、学校法人名古屋電気学園 愛知工業大学）
（オブザーバー：三恵工業株式会社）

(1) 研究目的

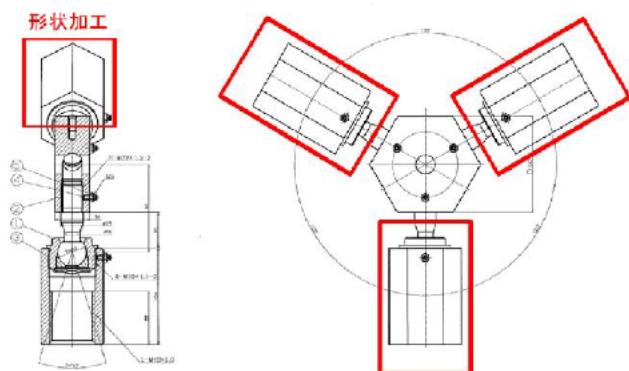
多様なブレースバリエーション（窓、出入口開口、機械設備等の必要スペース確保）に対応するため、多点接合端子の開発が必須だが、引張力が加わった際に、金属端子に垂直に応力が伝達できないとモーメント力が生じ、端子の形状変形原因となる（締結力が発揮できない）。そこで、多点接合端子を可動式と

することで、引張力が常に面内に働くようにするために、回転性能を有する端子を開発する。

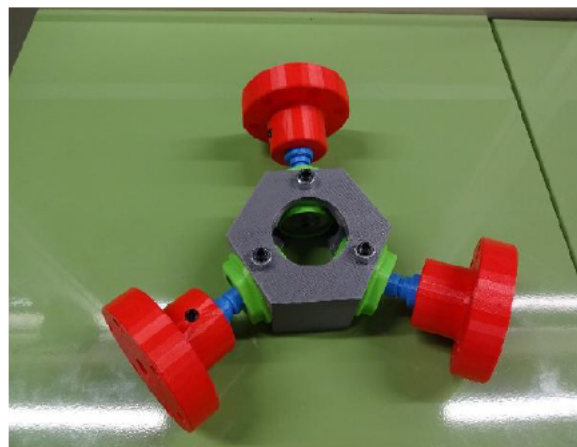
(2) 研究内容

1. 面内自由稼動

多点金属接合端子に引張力が加わった場合の面外方向へのフリー変位、及び既存鉄骨フレームの変形による引張方向の変位に対応するために、接合端子を 3 次元に可動可能とするために、ボールジョイント技術を採用し、下図のような設計、3 D 模型による可動域の検証をした後、製品を製作し強度検証実験を行った。



設計図



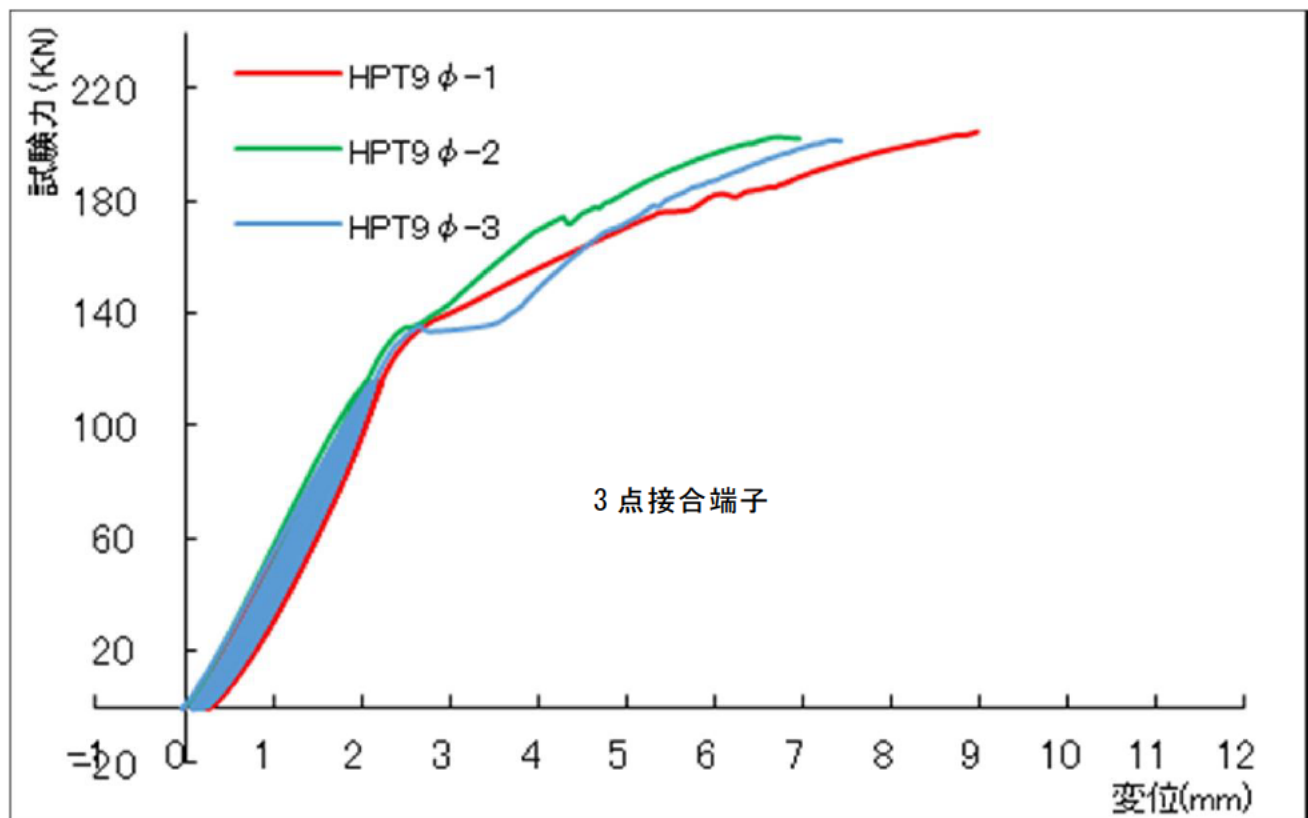
3 D 模型



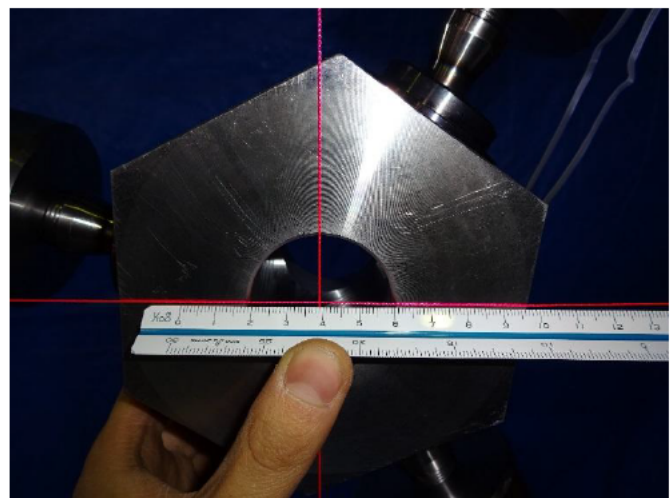
2. 3点接合端子の保有耐力確認試験、偏角強度試験

3本のプレスが交わる点で相互に締結することができる3点接合端子を開発した。この3点接合端子について高応力繰返し試験を実施することで保有耐力を確認した。

3点接合端子はボールジョイント機構が組み込まれておりこれにより様々なプレスバリエーションに対応できるようになっている。このボールジョイント機構の偏角時の引張り耐力の確認試験を実施し、保有耐力を検証し、目標を達成した。



実験状況



母材（耐震補強索）破断後形状確認

（３）研究成果

以上の結果により、本研究開発の課題の目標値のひとつである

《多点接合金属締結端子の開発》を達成した。

多様なブレースバリエーションに対応するため、多点接合金属端子を開発することが、必須であったが、ボールジョイントメーカー（三恵工業株式会社（オブザーバー））の専門技術を導入することで、耐震補強部材（アラミド繊維）の破断強度を上回るボールジョイントを新たに開発し、応力の面内伝達をすることに成功した。また、1号機の課題として重量が大きい

（11.9 k g）事があったが、2016年度の改良版では8.2 k gまで軽量化する事が出来た。これにより、施工性UP、コスト削減を向上させることが出来た。

2-5 高耐食性を有する接合端子の開発（サブテーマ 5）

研究開発の取り組みの評価に記載したように、サブテーマ5にあたる高耐食性を有する接合端子の開発は、本研究の改良型であり、アラミド繊維が持つ特徴をさらに活用して他分野（“吊橋のメインワイヤー”、“土留め壁のアースアンカー”及び“リニアモーターカーの線路構造部材”）の発展にも貢献するための課題であり、今年度も情報収集のみに留まった。具体的には“メッセナゴヤ 2016”により接点を持つことが出来た炭素繊維メーカー（タツミ化成株）と繊維材による耐震補強工法の可能性を、接合端子加工の実現性について協議、ヒアリングを実施した。

2-6 事業化への取り組み

(実施者：佐伯総合建設株式会社)

(1) 想定する市場（現在、今後の動向）

民間製造業を営む中小企業の耐震化率の現状は、全国平均 61.0%で決して高い数値ではない。今後は”人命安全確保“と”2次災害防止“に加え、BCPの観点からも需要増が見込まれ、展開可能性のある民間住居系建物（木造、RC造）においても、南海トラフ巨大地震、首都直下型地震に備え、需要増が想定される。

【販売促進戦略】

佐伯総合建設のグループ企業である佐伯鐵巧第2工場にてサンプル施工を実施し、既存顧客兼、顧客アドバイザーであるKYB株式会社にて低価格で施工し実績を作る。その実績を基に、工法協会を設立し全国展開を図る。

【事業化による経済効果】

国交省の実施したアンケート調査によると、”耐震化の必要性を感じながら実施しない“理由の75%は建物耐震化に要するコスト負担であり、トータルコスト削減になる本研究開発が事業化すれば、民間建物（工場、倉庫）の耐震化は加速度的に進行すると思われる。内閣府の公表によると、”南海トラフ大地震“による経済損失は220兆円であり、さらにインフラ損壊は169兆円と想定されており、これは東日本大震災の10倍の損失となる。民間建物の耐震化率が上昇することにより、近い将来に発生すると言われる”大震災“による建物損壊、工場、倉庫閉鎖等による経済損失を大幅に抑止できると考えられる。

第3章 全体総括

(1) 研究開発総括

ものづくり補助事業から始まった本研究開発は4年間（ものづくり1年、サポイン3年）の長期に及んだ。研究開発当初は、耐震補強（工事、施工）に関しては、佐伯総合建設株式会社は本業であるため、施工期間の短縮、コスト低減（在来工法比）の工法を容易に検証することが出来た。しかし、その工法成立（実証）の過程に於いて、机上理論では、化学繊維（アラミド繊維）の耐震補強部材、ボールジョイント技術、金属加工等、異業種の最新技術が確保出来ることが前提にあった。今回のサポイン事業では、販促目的の一貫でメッセナゴヤに3年間連続出展したことが大きな成果となった。化学繊維分野（アラミド繊維）では、ファイベックス様、エポキシ樹脂分野では、アルテコ様、北村化学様、ボールジョイント技術では三恵工業様、金属加工では、大津鉄工様と言った、専門メーカー、業種と交流が出来、オブザーバーとして携わって頂くことになった。

この交流、技術協力により、各サブテーマが、順次解決することが可能となった。2016年度実施した、各サブテーマの課題を解決した商品（成果物）を組み合わせで行った1/5スケールフレーム実験に於いては、計画通り70kNの水平荷重を加力した状態で耐震補強部材であるアラミド繊維母材を破断させることが出来た。この実験で得たデータを元に、仮想建物（鉄骨造平屋建）の耐震構造計算をすると、構造耐震指標 I_s 値が0.33から、0.68まで向上させることが出来た。

（ I_s 値<0.6：倒壊の危険あり）

本研究開発では、既存建物に設置（実施工）することは出来なかったが、多くの実験データ、検証結果から、当初研究開発目標の“高性能無溶接耐震補強工法”を開発することが完成したと確信する。

(2) 今後の展開と事業化

5年前の東北大震災に続き、去年は熊本で大地震が発生し、多くの人命を失った。地震大国日本には、まだまだ旧耐震基準で建造された建物は、現在でも全国に多数存在している。（鉄骨造建物：85,000棟）公共建築物については、補助金制度の充実により、建物耐震化は着実に進んでいる。一方民間鉄骨造建築物においては、コスト面で耐震化に踏み出せないオーナーが多く存在しているのも事実である。

本研究開発で完成した、“高性能無溶接耐震補強工法”は、コスト面で在来工法に比べ大きなメリットがある。今後は、自社（佐伯総合建設）が保有する既存工場内で試験施工を実施し、検証の後、今回サポイン事業で顧客アドバイザーを担当して頂いた、KYB株式会社様保有の工場で施工を実施した後、佐伯総合建設の既存顧客保有建物で実績を増やしていく。既存顧客保有建物の耐震化実績が50件程度になった時点で、全国展開に向けた販促活動に移行し、耐震補強メーカーとして、全国の民間鉄骨造建物の耐震補強を行い、地域社会に貢献できる事業とする。

終わり