調査研究報告　　No.440
RESEARCH REPORT 2023. 3

建築構造審査・設計の技術的支援と道内建築物の設計傾向調査

Technical support of a building confirmation structure inspection and structure design , Investigation of structure design characteristics of buildings in Hokkaido

森松　信雄[1)]、本間　裕二[2)]、千葉 隆史[3)]、長瀬　拓也[4)]、宮内 淳一[5)] 、齊藤 隆典[6)]
Nobuo Morimatsu[1)],Yuji Honma[2)], Takafumi Chiba[3)] , Takuya Nagase[4)], Junichi Miyauchi[5)], Takasuke Saitou[6)]

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部
建築性能試験センター/北方建築総合研究所
Building Performance Testing Center / Northern Building Research Institute
Building Research Department
Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

[1)]安全性能部　構造判定課　構造判定課長 [2)] 安全性能部　安全性能部長 [3)] 安全性能部　構造判定課　主査 [4)] 安全性能部　評価試験課　研究主任 [5)] 安全性能部　評価試験課　研究員 [6)] 北方建築総合研究所 建築研究部建築システムＧ　主査
1)Director of Structural Safety Judgment Section. 2) Director of Building Safety Performance Division 3) Chief of Structural Safety Judgment Section. 4),5) Researcher of Performance Testing and Evaluation Section. 6) Chief of Building Engineering System Group, Northern Regional Building Research Institute

本書の全部および一部の無断での転載はご遠慮ください。

No unauthorized reproduction

概　要
Abstract

建築構造審査・設計の技術的支援と道内建築物の設計傾向調査
Technical support of a building confirmation structure inspection and structure design , Investigation of structure design characteristics of buildings in Hokkaido

森松　信雄 1)、本間　裕二 2)、千葉 隆史 3)、長瀬　拓也 4)宮内 淳一 5) 、齊藤 隆典 6)
Nobuo Morimatsu 1),Yuji Honma2), Takafumi Chiba3）, Takuya Nagase4), Junichi Miyauchi 5), Takasuke Saitou 6)

キーワード ***：*** *構造計算適合性判定、鉄骨造、構造特性、データベース、柱脚、側方破壊*
Keywords : *Building confirmation structure inspection, Steel structures, Structural characteristics, Database, Steel column Base , Shear resistance of anchor bolt with small free edges*

1．研究概要

1）研究の背景

当センターは耐震偽装問題を契機に制度化された構造計算適合性判定業務を平成 19 年から実施するとともに、建築構造に係る審査や技術に関する調査・研究および情報提供を行い、建築確認申請の円滑化や構造安全性の確保を継続的に図ってきた。

近年では、建築確認が民間審査機関に申請されることが多くなり北海道をはじめとする特定行政庁への許容応力度設計等および保有水平耐力設計の確認申請数が減少し、建築技術職員による構造審査経験が減っていることから、構造に係る審査実務者育成のための技術的支援や情報提供について特定行政庁からの継続的な強い要望がある。

また、判定業務を開始してからの 16 年間に蓄積された判定実績により、地域的な設計技術上の傾向や構造特性等をデータベース化することができ、それらを展開することで地域特性を考慮した建築物の安全性向上につなげることが重要である。

2）研究の目的

・特定行政庁の建築技術職員や設計者に対して、構造審査や設計者に有用な情報提供と講習会を実施することで、構造審査の迅速化を図り建築確認申請の円滑化を目指す。同時に、判定実績から道内の建築物の建築構造設計上の傾向や構造特性を分析し、耐震性能を定量化したデータベースを作成、特定行政庁や設計者に広く情報提供することによって道内建築物の安全性向上を図ることを目的とする。

2．研究内容

1）構造審査・構造設計関連法令および技術的問題点の整理分析と情報提供（R2～4 年度）

・ねらい： 構造設計関連の法令基準、設計基準等に係る新たな情報や判定実績の整理・分析から構造設計上の留意点をとりまとめ情報展開することにより設計や審査の円滑化を図る。また、設計者からのニーズ等に対応した、構造実験や解析を行い、情報提供を行う。

・試験項目等： 構造関連の法令基準等に関する調査・分析、判定実績の整理と分析、設計方法に関する情報整理分析、構造実験および解析等、講習会の実施、設計者に対するアンケート調査など

[1)]安全性能部　構造判定課　構造判定課長 [2)] 安全性能部　安全性能部長 [3)] 安全性能部　構造判定課　主査 [4)] 安全性能部　評価試験課　研究主任 [5)] 安全性能部　評価試験課　研究員 [6)] 北方建築総合研究所 建築研究部建築システム G　主査
1)Director of Structural Safety Judgment Section. 2）Director of Building Safety Performance Division 3）Chief of Structural Safety Judgment Section. 4),5）Researcher of Performance Testing and Evaluation Section. 6）Chief of Building Engineering System Group, Northern Regional Building Research Institute

2）道内建築物の構造設計傾向および安全性向上のための構造特性分析（R2～4 年度）

・ねらい： 道内建築物に係る構造設計の傾向や構造特性および設計業務上の傾向を判定業務の実績から調査分析・検証し、その結果を講習会等で情報提供することで道内における建築物の安全性向上を図る。

・試験項目等：判定実績の構造特性調査・分析、構造実験および解析、データベース

3．研究成果

1）構造設計関連の法令基準、構造設計基準・規準などにかかる改正・改定情報について、日本建築行政会議構造計算適合性判定部会作業部会への参加、国交省等のホームページなどを調査し情報を整理し取りまとめ、設計者向けの講習会で情報提供を行った。（R2～4 年度）

・R2～R3 年度に行った構造計算適合性判定物件を調査分析し、審査者側からの主な指摘事項を整理した（図 1）。また、一貫設計プログラムによって出力される計算書内のワーニングメッセージ（注意・警告メッセージ）の例とその対応などを解説した資料を作成した。これらの資料を、審査者または設計者向けの講習会で配布・説明を行った。また、その一部をホームページで公開している。（R2～4 年度）

2）過去の判定物件より任意に抽出した 100 棟の低層鉄骨造建築物の構造特性調査を行った。代表的な部材で使用されている鉄骨の鋼種は SS400 が多いこと（図 2）、張り間スパンの梁には H588×300 サイズが多く使われていることなどが明らかになった。本結果は、構造審査・設計の経験の少ない技術者にとって設計の目安になるとともに、鉄骨部材のリユースの可能性を検討する際の基礎資料となる。（R2～4 年度）

・低層鉄骨造建築物の代表的なスパンの分布（図 3）が明らかになった。これらは、鉄骨造建物を木造に置き換える場合のプラン検討の基礎資料となる。（R2～4 年度）

・設計者から要望のあった鉄骨造柱脚の RC 柱形（図 4）の側方破壊実験を行い、破壊性状について明らかにした（図 5）。また、実験の一部について設計者に対して公開実験も行った。実験の結果をまとめ、設計者に講習会で報告をした。（R2～4 年度）

＜具体的データ＞

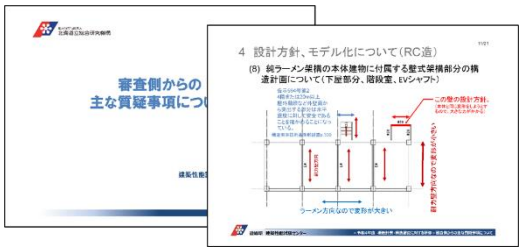


図 1 作成した「主な指摘事項」の資料

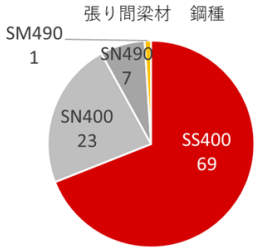


図 2 梁に使用されている鋼種

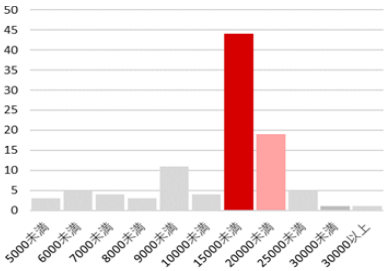


図 3 張り間スパンの分布

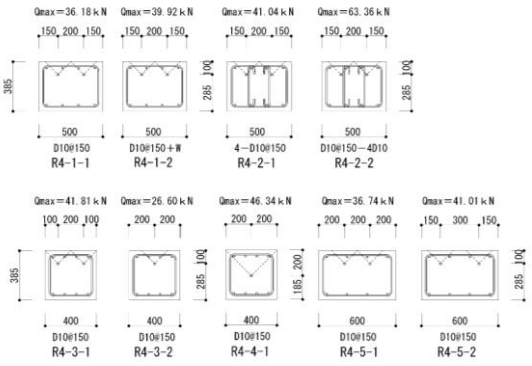


図 4　側方破壊実験の試験体断面図

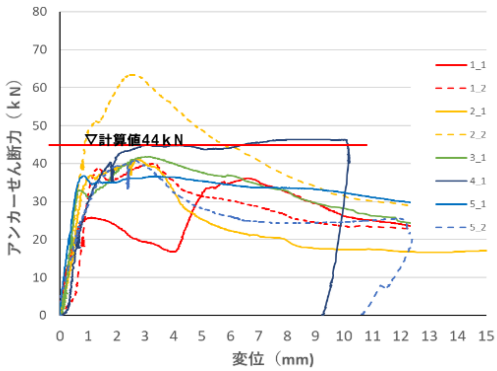


図 5　側方破壊実験　せん断力－変位図

4．今後の見通し

・構造に関する法律、基準・規準は今後も更新されることから、継続的に設計者に最新情報の提供を行っていく必要がある。

・今後も、自治体や建築関係技術者と連携を図り、建築物の安全性向上に関する調査・研究を継続する必要がある。

目　次

１．研究の背景と目的 1
（１）背景 1
（２）構造計算適合性判定業務の状況 1
（３）目的 2

２．建築構造審査・設計の技術的支援 2
（１）構造設計関連法令および構造設計基準・規準などの改正・改定情報の整理 2
（２）判定業務における技術情報の整理 3

３．構造性能評価業務の実施可能性についての調査 5

４．道内建築物の設計傾向調査（低層鉄骨造建築物の構造特性調査） 5

５．鉄骨造露出型柱脚の鉄筋コンクリート造柱型の側方破壊挙動の実験 11

６．まとめ 17

1．研究の背景と目的

（1）背景

平成 17 年に発覚した耐震偽装問題を契機に、北海道では、平成 19 年 4 月に北海道立北方建築総合研究所内に構造計算適合性判定センターが設置された。平成 22 年の地方独立行政法人化を経て、平成 30 年 4 月に建築材料の性能評価機関としての機能を統合した北海道立総合研究機構　建築研究本部　建築性能試験センター（以下、当センターと略す）となり、北海道内に所在する唯一の指定機関として構造計算適合性判定業務（以下、判定業務と略す）を実施している。

平成 19 年 6 月に判定業務を開始して以来、約 5100 棟の判定実績があり、道内の建築構造に関する地域特性の把握、安全性の向上の為に重要な資料となる判定業務における質疑内容、構造図・構造計算書を多く所持している。これらを調査、分析し情報を提供するとは、審査者及び設計者にとって非常に有効なことである。

当センターは、設立当初は道立の機関であったことから北海道をはじめとする特定行政庁職員に対して積極的に構造審査の技術的支援や情報提供を毎年継続してきている

また、近年では建築確認が民間審査機関に申請されることが多くなり北海道をはじめとする特定行政庁への確認申請数が減少し、建築技術職員による構造審査経験が減っている状況もあり、構造に係る審査実務者育成のための技術的支援や情報提供について特定行政庁から要望が高まっている

さらに、当センターではこれまでに一貫構造計算プログラムにおけるモデル化の検討（段差梁架構部分、三方スリット壁、方立壁、クランク壁）を行い各プログラムによる剛性のばらつきや架構性状の相違を明らかにし設計上の留意点の提案[1)、2)]、判定実績より抽出した鉄筋コンクリート造建築物のコンクリート強度分布等の構造特性の調査と時刻歴解析を行い応答性状の把握及び鉄骨造露出柱脚の RC 柱形の側方破壊性状の把握のための実験[3)]を行い、それらの結果について講習会等を通して特定行政庁職員や構造設計者に情報提供をしてきた。

（2）構造計算適合性判定業務の状況

当センターは、平成 19 年 6 月より構造計算適合判定業務を開始した。平成 26 年 1 月からは判定機関が新たに 4 機関（(一財）日本建築センター、(一財）ベターリビング、(一財）日本住宅金融普及協会、(一財）日本建築設備・昇降機センター）追加指定され、平成 29 年 1 月にはさらに 1 機関（(一財）日本建築総合試験所）追加されたが、令和 2 年 4 月に（一財）日本建築設備・昇降機センターが判定業務を廃止したため、現在当センターを含めて 5 機関が道内の建築物の判定業務を実施している。

表 1-1　北海道の年度毎　判定依頼受付件数／棟数

年度	北海道全体	当センター
平成 19 年度	363／466	
平成 20 年度	512／703	
平成 21 年度	398／555	
平成 22 年度	421／549	
平成 23 年度	406／523	
平成 24 年度	427／538	
平成 25 年度※1	488／602	451／588
平成 26 年度	439／586	218／284
平成 27 年度※2	371／451	114／135
平成 28 年度	423／494	141／158
平成 29 年度	422／507	126／154
平成 30 年度	392／467	119／137
令和元年度	360／425	99／116
令和 2 年度	316／365	81／95
令和 3 年度	329／389	73／78
令和 4 年度※3	295／331	60／66

※1 平成 26 年 1 月より判定機関が複数化
※2 平成 27 年 6 月よりルート 2 主事よるルート 2 審査の開始
※3 令和 5 年 1 月時点

北海道全体における判定業務の対象物件（受付）は、令和 3 年度で 329 件/389 棟である。当センターで判定を実施した件数/棟数は、平成 26 年度以前は、

概ね 400 件/500 棟、平成 27 年度以降 120 件/150 棟、令和 3 年度は 73 件/78 棟で推移している。表 1-1 に北海道全体と当センターで実施した年度毎の判定依頼件数/棟数の動向を示す。なお、北海道は積雪寒冷地であることから 11 月～2 月にかけての工事着工が少ないため判定依頼件数が少なくなり、雪解け後の 4 月以降に工事着工が集中することから 2 月頃より判定依頼件数が増加する傾向が顕著であることは、判定業務を開始して以来、同様の傾向が続いている。

（3）目的

そこで本研究では、設計者及び特定行政庁の建築技術職員に対して、判定実績や法令・基準等の改正情報等から分析した構造審査と構造設計に有用な情報の提供と講習会等を実施することで、建築確認申請、構造計算適合性判定業務の円滑化を図ることを目的とする。

さらに、判定実績から道内の建築物の構造設計上の構造特性や設計傾向の分析・データベースの作成および構造実験を行った結果を、特定行政庁や設計者に広く情報提供することによって道内建築物の安全性向上を図ることを目的とする。

なお、現行基準で建築された建築物に対して本研究のように広範囲かつ統計的に分析をした例は少なく、得られた結果を公表することは、構造技術者への意義ある資料になると考えている。

[参考文献]

1) 北川淳　他：建築確認申請における構造審査等支援のための調査, 地方独立行政法人北海道立総合研究機構　北方建築研究所　調査研究報告，No.312，2012.3

2) 北川淳　他：建築確認申請における構造審査等円滑化のための調査，地方独立行政法人北海道立総合研究機構　北方建築研究所　調査研究報告，No.353，2015.3

3) 森松信雄　他：建築確認構造申請の技術的支援と道内建築物の安全性向上のための特性分析, 地方独立行政法人北海道立総合研究機構　北方建築研究所　調査研究報告，No.405，2020.3

2. 建築構造審査・設計の技術的支援

（1）構造設計関連法令および構造設計基準・規準などの改正・改定情報の整理

建築基準法、告示または建築学会から発行されている構造設計規準、構造関連の法令などが整理されている「建築物の構造関係技術基準解説書」は随時改正・改定されている。判定業務に直接関係する法令・基準・規準を整理し構造設計者等に情報を提供することは、建築確認申請、構造計算適合性判定業務の円滑化を促進することになる。

建築基準法については、この研究を開始した令和２年度から令和 4 年度における改正された内容及び今後改正予定で構造設計に関わる法・告示等について調査・整理した結果を以下に示す。

1）2022（令和 4）年 3 月　平成 13 年国土交通省告示第 1024 号のうち第 1 第 14 号及び第 2 第 13 号に規定するあと施工アンカーに係る運用についての一部改正があった。現行基準では、あと施工アンカーは既存の鉄筋コンクリート構造の部材とこれを補強するための部材との接合に用いるものに限定されていたが、増改築や新築において、補強以外の用途に使用することが可能になった。但し、使用できるあと施工アンカーは許容応力度が大臣に指定された接着系あと施工アンカー（注入方式カートリッジ型）であるが令和 5 年 3 月末の段階では、強度指定されたあと施工アンカーが登録されていないため、現状では使用できない。

2）2022（令和 4）年 6 月に公布された「脱炭素社会の実現に資するための建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律等の一部を改正する法律」により建築確認･検査対象の見直した審査省略制度（いわゆる「4 号特例」）の縮小が措置され 2025 年 4 月に施行予定である。これは、1998 年に基準法改正による建築確認・検査の民間開放等があったこと、同制度を活用した多数の住宅において不適切な設計・工事監理が行われ、構造強度不足が明らかになる事案が発生したことを受け制度の見直しが検討されていた。

現状は、建築基準法第 6 条の 4（建築物の建築に関する確認の特例）の条件を満たしていれば、建築確認審査の一部を省略できるが、施行後には一部を除き確認申請の際に構造図書（構造関係規定などの図書）の提出が必要になり審査対象となる。

建築基準法第 6 条第 1 項第 4 号に該当する建築物が、改正後には新 2 号と新 3 号（木造平屋建て　延べ面積 200 ㎡以下）になり、審査省略制度の対象は、新 3 号のみになる。これらが施行されると、一般的な木造 2 階建ての住宅も構造審査の対象となり、確認審査機関・設計者の負担増加により確認審査が滞る可能性があるため、事前に準備が必要であることを講習会などで設計者に情報提供をした。

3）2022（令和 4）年 6 月に公布された「脱炭素社会の実現に資するための建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律等の一部を改正する法律」で階高の高い木造建築物などの増加を踏まえた構造安全の検証法の合理化とし、建築基準法 20 条を改正し簡易な構造計算で建築可能な 3 階建て木造建築物の範囲が拡大された。これは、現行法では高さ 13m以下かつ軒高さ 9m以下は、二級建築士でも設計できる簡易構造計算（許容応力度計算）で建築可能となっているが、簡易な構造計算の対象の高さを 16m以下に拡大し、併せて建築士法も改正された。

4）2025（令和 7）年 4 月からの施行予定で、2023（令和 5）年秋頃の公布予定であるが、木造建築物における省エネ化等による建築物の重量化に対応するための必要壁量等の基準（案）についても整理・報告した。これは、令和 4 年 2 月 1 日の社会資本整備審議会の答申において省エネ化等に伴って重量化している建築物の安全性の確保のため、必要な壁量等の構造安全性の基準を整備することが示され、基準（案）の概要が取りまとめられた。令第 46 条第 4 項表 2 と同様に、簡易に必要な壁量を確認する方法として新たに ZEH 水準等の建築物に対応する必要な壁量の基準が位置づけられている。この改正案は確定されたものではないが、将来の既存不適格を減らすためにも設計者へ情報を早めに提供することは有効と考えた。

これらの情報は、令和 4 年 12 月 1 日　（一社）日本建築構造技術者協会北海道支部「函館設計交流会」、令和 5 年 2 月 28 日　令和 4 年度「構造計算適合性判定業務に関するセミナー」にて設計者へ情報提供（図 2-1，図 2-2）を行った。

図 2-1　告示改正の資料（あと施工アンカー）

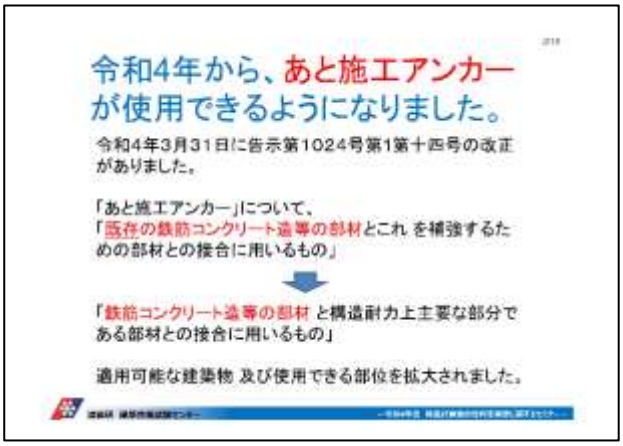
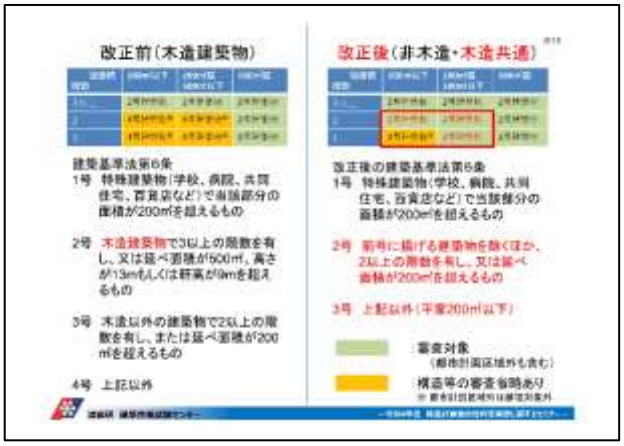


図 2-2　法改正の資料（4 号特例について）



（2）判定業務における技術情報の整理

構造審査技術の支援や情報提供については、特定行政庁等の確認審査担当者から、構造計算適合性判定の審査上のよくある指摘事項及びワーニングメッセージ（エラーメッセージ）の考え方・内容等についての資料を求められていた。そこで、令和 2 年～4 年までの判定業務の実績から、主な指摘事項とワーニングメッセージに対する設計者からのコメント例を整理し資料として取り纏めた。

ワーニングメッセージ（エラーメッセージ）につ

いては、代表事例を整理し取り纏めて内容を解説した資料と設計者が記載した対応コメントの例文を記載した資料を作成した。ワーニングメッセージの事例と対応例について表 2-1 に示す。

表 2-1　　代表的ワーニングメッセージと対応例

メッセージ例		設計者の所見例
平面形状に関する事項	・フレームまたは柱の主軸の傾斜角が15°を超える ・節点の同一化が行われている ・軸振れの指定があります	・実建物形状にあわせてモデル化を行った。 ・柱位置を実状に合わせるために指定した。 ・立体解析なので問題ない。
立面形状に関する事項	・節点上下移動の指定があります ・セットバックの指定があります ・大梁の傾斜角が15度を超える	・実建物形状にあわせてモデル化を行った。立体解析なので問題ない ・水勾配を考慮してモデル化した。
剛床に関する事項	・剛床解除を指定しています ・剛床が複数存在する（多剛床の指定があります） ・××節点に独立水平変位の指定がされている	・実建物形状にあわせて剛床を解除したので問題ない。 ・吹き抜け部の剛床を解除した。
荷重に関する事項	・積載荷重"なし"が指定されている ・スラブ形状名称××の積載荷重番号が0になっている	・屋根部であり、積雪荷重のみ考慮している。
ルート判定に関する事項	・偏心率が0.1を超えています ・剛性率が0.6を下回っています	・保有耐力計算においてFesを割り増して検討している。
部材に関する事項	・壁形状○の壁形状名称W○○の壁厚が0になっている ・スラブ形状名称L○○のスラブ厚さが0になっている	・軽量間仕切のためコンクリートの壁厚tを0とした。 ・折板屋根のため、コンクリートのスラブ厚さを0とし固定荷重として入力した。
せん断補強筋に関する事項	・RC梁ｐwの計算式の上限を超えている。 ・長期荷重時のせん断力に対する使用性確保のための検討において、ｐwが0.6%を超えています、ｐw=0.6%で計算します。 ・柱のpwが計算式の上限を超える	・Pwを1.2%として計算しており問題ない。 ・上限値で計算しているので問題ありません。
支点の状態に関する事項	・支点の状態を指定しています。 ・△フレーム○軸の鉛直荷重時上下方向バネが０で入力されているため支点が解除されます。	・基礎のない節点の支点拘束を解除した。 ・基礎梁が取り付かない部分の支点に対して、回転拘束を指定。曲げモーメントを杭にて処理させるため。
梁端部の拘束条件に関する事項	・Y○フレーム1F層X□軸のはりの接合条件を入力している	・実状にあわせて大梁端部の接合条件をピン接合にした。
部材の剛域に関する事項	・剛域が直接入力されています ・Y△フレーム2F階X□軸の柱の剛域が入力されている	・剛接型のRC腰壁・垂れ壁、梁レベルが下がっているところを考慮し剛域を調整した。 ・鉄骨造の根巻き柱脚に剛接する腰壁を考慮した。
部材の剛性に関する事項	・剛度増減率が直接入力してれています ・柱・大梁剛性増減率が指定されている ・Y□フレーム2F層X○軸のはりの剛性増大率が入力されている。 ・Y△フレーム2F層X□軸のスラブによる剛性増大率が入力されている。	・スリット付き壁を考慮して梁の剛性を調整した。 ・部材剛性が実状に合うように設定した。 ・吹き抜け部などスラブによる剛性を実状に合わせて調整した。 ・梁フカシ、スリット壁の剛性を考慮しています
部材耐力に直接入力に関する事項	・梁フカシ、スリット壁の剛性を考慮しています。 ・大梁耐力を直接入力している。	・別途計算したPC梁のMuを入力しています。 ・支点の浮き上がり耐力、圧壊耐力を実状にあわせて ・軸力を考慮した梁のMuを入力しています。

また、判定業務における審査側からの代表的な指摘事項は、基本的な設計図書間での不整合やケアレスミス、個別性の高い質疑等を除いた代表的な項目を抽出した。その結果を表 2-2 に示す。また、2020 年版　建築物の構造関係技術基準解説書の Q&A が 2021（令和 3）年 10 月に公表された。当該 Q&A を整理し、判定に大きく影響するような注意事項について抽出し指摘事項と併せてに取り纏めた。さらに、日本建築行政会議構造計算適合性判定部会の作業部

表 2-2　代表的指摘事項例

荷重に関する事項	押えコンクリート、フカシコンの荷重の設定と範囲
	積載荷重の設定根拠（倉庫、工場、設備機器荷重、消火水槽など）
	天井走行クレーン荷重の組み合わせ（満載、空荷、近接時など）と入力値について
	電算入力における追加荷重の数値の根拠
	多雪区域外の区域における、積雪荷重の取り扱い
二次部材に関する事項	RC造の片持ちスラブの基端応力処理
	壁面より2mを超える跳ね出し部分への局部震度の考慮
	ＲＣ小梁において、RC規準による最小配筋規定について
	ＦＥＭの計算における境界条件について
	庇部の折板の設計における設計風圧力について
	土圧を受ける壁の設計
設計方針に関する事項	部材と直交加力方向時の断面計算について（べた基礎建物の基礎梁など）
	塔状建物の転倒の検討方針
	矩形ではない平面形状の場合の地震力の作用方向
	床面、屋根面でのせん断力移行の検討
	エキスパンションジョイント幅の設計
	認定、評定の材料・工法を使用しているが適用範囲外の内容がある、認定番号の未記載がある
設計方針に関する事項（RC造）	中央部主筋本数が端部主筋本数の半数以下ですが、終局曲げ耐力への影響
	RC造の雑壁が剛接された柱・梁のヒンジの発生位置及び剛域の設計方針
	最下層で崩壊形となる以前に上階が崩壊形となり1層の部材にヒンジが発生していないときの靱性保証
	開口付きスリット壁やパラペットの剛性評価方針（評価が統一された基準ですか）
	最下層でコンクリート強度を２ランク下げている場合の応力伝達について
	付着割裂の検討について
	基礎小梁で杭頭曲げを負担していますが、下端主筋端部の定着仕様について（定着の必要性）
	純ラーメン架構の本体建物に付属する壁式架構部分の構造計画について（下屋部分、階段室、EVシャフト）
	耐震壁の開口補強筋の設計応力
	耐力壁の縦筋に対して横筋を2倍以上多く配置し終局せん断強度を算定している
	下層階壁抜けとなる１階柱に対して、２階耐力壁下端の枠梁や２階柱が見合った断面になっていない
	壁量に算入しているそで壁のルート2−2の靱性確保に関する規定について
	柱はり接合部の設計用せん断力の算定における α（応力割増係数）は1.1倍以上必要です（耐力式の鉄筋の材料強度（1.1F以下）の割り増しとは別です）
	幅の小さな柱に対する梁主筋の直線定着長さについて
	ピロティ階の単独柱の横補強筋の間隔について
	柱梁接合部のせん断補強筋量について靱性指針で検討していますが、pw=0.2%ですが問題ありませんか
設計方針に関する事項（S造）	鉄骨梁の合成梁の設計において、剛性割り増しとスタッドボルト本数の設計
	鉄骨造の基礎梁にヒンジが発生している場合のＤｓ（RC造の0.3を採用について）
	山形ラーメン架構の剛床解除
	梁の途中に節点がある鉄骨梁の長さについて（電算における１本梁指定）
	柱型の側方破壊の検討
	根巻き柱脚の靭性保証設計
	埋め込み柱脚のコ型補強筋の設計
	トラス梁の部材種別をＦＡとしているが、部材種別を決める変形能力確保に対する検討について
	トラス梁の接合部の長期応力に対する設計
	鉛直ブレースの接合部周辺部材の検討
	鉛直ブレース付帯梁の軸力を考慮した設計
	上下階で柱サイズが異なる場合のダイアフラムの設計
	梁端部に近い部分に横補剛を設ける方法を採用しているが、配置（寸法）が記載されていない
	角形鋼管とH型梁の仕口部において梁ウエブのモーメント伝達考慮した保有耐力接合の検討について
基礎に関する事項	べた基礎底版の設計において、底版外周部の拘束条件（底版端部の曲げ戻し応力の処理など）
	浅層混合処理工法の適用範囲
	１階土間スラブの場合、剛床仮定を成立させるための条件（杭基礎のケース、土間スラブ筋の梁への定着方法）
	地盤改良柱の地震時の検討
	地盤の許容応力度算定時における、平均N値、Df値、地下水位、荷重の傾斜角について
	場所打ちコンクリート杭の先端支持力式について
	引き抜き力のあるフーチングのはかま筋の設計について
	杭先端以深のボーリングN値が計測されていない（先端以深でのN値低下の可能性について）
	基礎梁が取り付かない基礎の杭設計において、杭頭曲げによる変動軸力の考慮
	近隣ボーリングデータの妥当性
	短い杭の設計条件（杭先端の境界条件をピンとする妥当性について）
	べた基礎形式形式の基礎小梁の短期接地圧に対する検討について
プログラム入力に関する事項	電算入力の独立水平変位の指定節点について（剛床解除の節点について）
	電算モデル化における構造芯の設定値
	電算における、片持梁が取り付く接合部形状
	電算入力の有効スラブ筋の鉄筋量
	電算で入力している、追加荷重、剛域の設定、剛性倍率の設定根拠

会に参加する中で得られた最近の構造技術的な課題などの最新の情報についても反映している。

これらは、北海道をはじめ他の特定行政庁の建築技術職員に対して「建築確認構造審査の技術力の向上に関する研修会」にて令和 5 年の 2 月～3 月に開催（8 会場）し情報提供（図 2-3，2-4）を行った。

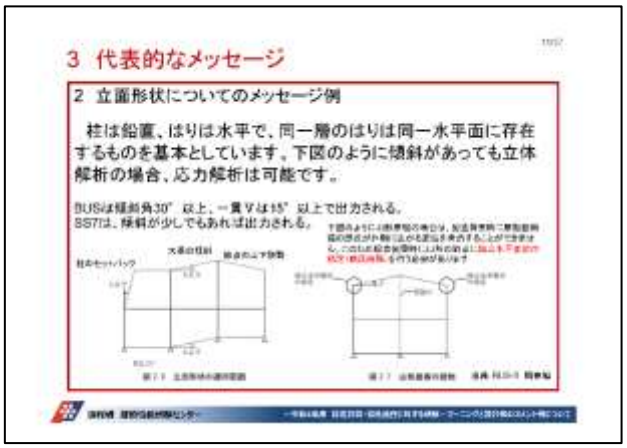


図 2-3　研修会の資料（ワーニング事例）



図 2-4　研修会の資料（指摘事項例）

3．構造性能評価業務の実施可能性についての調査

現在当センターでは、建築基準法第 59 条第 1 号防耐火構造及び防火設備の耐火性能(壁、防火戸等)および第 2 号の防火材料の不燃性能の性能評価業務と構造計算適合性判定業務を行っているが、今後の業務展開のため、全国の構造関係の性能評価業務の 2013 年～2022 年における実績について調査した(表 3-1)。構造関係の性能評価業務は全部で 16 項目あり、評価件数が一番多い項目は、超高層建築物等の認定（時刻歴解析等）で 7551 件であった。次いで、壁倍率の認定が 398 件、基礎ぐいの許容支持力の算出方法が 220 件であった。また、北海道の事業者が申請者となっている件数は、超高層建築物等が 111 件、壁倍率が 4 件、基礎ぐいの許容支持力の認定が 3 件であり、道内事業者による認定の需要が少ないことがわかった。

表 3-1　性能評価機関と評価件数

性能評価項目	認定機関数	評価件数	道内事業者の評価件数
超高層建築物等の認定（時刻歴解析）	16	7551	111
構造計算プログラムの認定	1	8	0
特定天井の認定	2	不明	不明
木造の軸組の認定	5	不明	不明
鋼材接合部に関するの認定	2	12	0
継手又は仕口の構造に関する認定	2	18	0
高力ボルト接合に関する認定	2	22	0
ＲＣ造の柱等の認定	9	不明	不明
広告塔又は高架水槽等の認定	9	不明	不明
遊戯施設の認定（構造耐力）	5	不明	不明
壁倍率の認定	5	398	4
（基礎ぐいの許容支持力の算出方法）	4	220	3
（木造等の建築物又はその部分）	3	0	0
（鉄骨造等の建築物又はその部分）	3	47	0
（ＲＣ造等の建築物又はその部分）	2	2	0
（溶接された鋼材の溶接部）	2	不明	不明

4．道内建築物の設計傾向調査（低層鉄骨造建築物の構造特性調査）

1) 目的

建築物構造特性や設計傾向をデータベースにまとめ特性分析をすることは、効率的な構造審査の実施や構造計画・構造設計における基礎資料にもなることから重要である。

当センターで判定業務開始以来約 5,100 棟の判定実績があること、これまでに鉄筋コンクリート造建築物の設計傾向・構造特性調査[1)]を実施していることから、本研究では鉄骨造建築物を対象とし任意に抽出した 100 棟について、構造特性の調査・分析した結果を報告する。

令和 3 年度の建築着工統計による、全国と北海道の鉄骨造建築物の地上階別の着工床面積を表 4-1 と図 4-1 に示す。これらより、鉄骨造建築物のうち 2 階建て以下の建築物が全国では約 50%、道内では約 70%であることから、低層の鉄骨造建物を本研究の調査対象とした。

表 4-1 鉄骨造の階数別 R3 年度着工床面積と棟数

地上階数	床面積（㎡）		棟数（棟）	
	全国	北海道	全国	北海道
1階	6,654,670	407,364	20,897	1,042
2階	11,398,419	354,037	37,218	921
3階	6,226,860	147,274	7,936	25
4～5階	6,047,526	28,023	1,365	13
6～9階	1,689,617	8,453	354	3
10～15階	969,837	41,969	169	3
16～20階	357,130	0	9	0
21～30階	979,827	0	8	0
31階以上	1,186,311	0	4	0

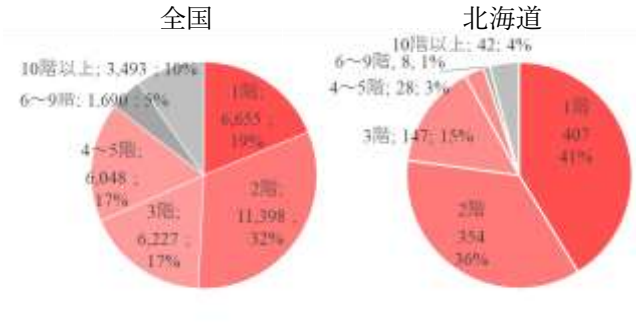


図 4-1　鉄骨造の階数別床面積（千㎡）

2) サンプルデータについて

本調査のデータベースは、判定実績の中から任意に抽出し、その構造計算書と構造図から必要な諸元の読み取りにより構築した。

対象とする鉄骨造建築物は、着工統計の結果と当センターの判定実績から、1～5 階の低層建築物とした。立地条件は、札幌を中心とした都市部で地域係数が 0.9 の地域が大半を占めているが地域係数は 0.8～1.0 地域となっている。積雪条件は長期荷重で垂直積雪量が 70～140cm 地域となっている。表 4-2 に低層鉄骨造建築物のデータベース一覧を示す。

3) 調査項目について

調査項目は、建築物の用途、延べ床面積、階数、階高さ、架構形式、屋根仕様、梁間・桁行スパン長さ、梁間・桁行方向の部材サイズ、鋼種、柱サイズ・鋼種、基礎梁せい、層間変形角、Ds 及び保有水平耐力／必要保有水平耐（以下 Qu/Qun と略す）としている。なお、調査途中から集計を開始した基礎梁せいは 76 棟、層間変形角、Ds 及び Qu/Qun については 53 棟の調査結果となっている。

表 4-2　　低層鉄骨造建築物の一覧

No	所在地	用途	延べ床面積（㎡）	地上階数	1階高さ（水上）（mm）	架構形式	架構形式
1	札幌市	工場、事務所	3006.3	2	3870	ラーメン	ラーメン
2	札幌市	事務所、自動車車庫	985.5	2	4400	ラーメン	ラーメン
3	滝上町	工場	562.7	1	9600	ラーメン	ブレース
4	苫小牧市	寺院	648.5	2	4350	ラーメン	ラーメン
5	苫小牧市	事務所	730.7	2	3750	ラーメン	ラーメン
6	上士幌町	工場	1070.8	1	9070	ラーメン	ラーメン
7	函館市	倉庫	567.3	2	4560	ラーメン	ラーメン
8	江別市	事務所、倉庫	1739.0	3	3250	ラーメン	ラーメン
9	小樽市	倉庫	699.8	2	4600	ラーメン	ブレース
10	北斗市	自動車整備工場	1068.3	2	7500	ラーメン	ラーメン
11	旭川市	診療所、店舗、住宅	1296.2	5	3900	ラーメン	ラーメン
12	小樽市	大学	1995.5	2	4000	ラーメン	ラーメン
13	札幌市	事務所	1618.9	2	5520	ラーメン	ラーメン
14	旭川市	事務所	1271.3	5	3870	ラーメン	ラーメン
15	網走市	自動車修理工場	595.0	2	8550	ラーメン	ラーメン
16	旭川市	工場	305.3	1	7750	ラーメン	ブレース
17	砂川市	寺院	981.0	2	3815	ラーメン	ラーメン
18	新ひだか町	物品販売店舗、他	858.7	1	3870	ラーメン	ラーメン
19	新ひだか町	物品販売店舗、他	808.1	2	4000	ラーメン	ラーメン
20	幕別町	事務所	1523.3	2	4300	ラーメン	ラーメン
21	南幌町	店舗	1266.5	2	4000	ラーメン	ラーメン
22	当別町	貯蔵庫	751.3	1	7700	ラーメン	ブレース
23	芽室町	倉庫	3975.5	1	9530	ブレース	ラーメン
24	旭川市	倉庫	720.0	1	7600	ラーメン	ラーメン
25	旭川市	自動車車庫	2436.7	1	2960	ラーメン	ラーメン
26	旭川市	物品販売店舗	10288.2	2	5500	ラーメン	ラーメン
27	旭川市	事務所	984.7	2	5300	ラーメン	ラーメン
28	札幌市	工場	1211.7	2	3900	ラーメン	ラーメン
29	帯広市	物品販売業を営む店舗	9599.8	2	4300	ラーメン	ブレース
30	旭川市	病院（	855.0	3	3650	ラーメン	ラーメン
31	函館市	工場（危険物製造所）	657.8	1	6400	ラーメン	ブレース
32	北見市	野菜集出荷場	453.6	1	8390	ラーメン	ブレース
33	江別市	格納庫	140.0	1	7323	ブレース	ラーメン
34	千歳市	倉庫	16560.0	2	7500	ラーメン	ラーメン
35	札幌市	寺院	761.8	3	3860	ラーメン	ラーメン
36	芽室町	倉庫	1498.5	1	8920	ラーメン	ブレース
37	中標津町	自動車修理工場	939.9	2	4020	ラーメン	ラーメン
38	札幌市	工場	1891.7	2	5200	ラーメン	ラーメン
39	帯広市	物品販売店舗	3829.5	1	5200	ラーメン	ラーメン
40	帯広市	物品販売店舗	607.0	1	5250	ブレース	ラーメン
41	小樽市	倉庫	6920.0	1	11000	ラーメン	ラーメン
42	函館市	工場	574.8	1	9600	ラーメン	ブレース
43	釧路市	工場	1099.4	1	9100	ラーメン	ラーメン
44	大樹町	自動車車庫	945.0	1	6650	ラーメン	ラーメン
45	登別市	集会場	1430.4	2	4100	ラーメン	ラーメン
46	美幌町	事務所、寄宿舎	665.4	2	3850	ラーメン	ラーメン
47	福島町	車庫	299.0	1	5440	ラーメン	ラーメン
48	札幌市	事務所、倉庫	2970.4	3	4550	ラーメン	ラーメン
49	釧路市	車庫・事務所	562.6	2	7450	ラーメン	ラーメン
50	北広島市	倉庫	906.3	2	3500	ラーメン	ラーメン
51	小樽市	工場	1155.0	1	6660	ラーメン	ブレース
52	旭川市	保育園	613.8	2	3455	ラーメン	ラーメン
53	旭川市	倉庫	2880.0	1	8380	ラーメン	ラーメン
54	函館市	事務所	809.0	3	3304	ラーメン	ラーメン
55	富良野市	工場	400.0	1	6700	ラーメン	ラーメン
56	浦臼町	事務所	1447.4	2	4150	ラーメン	ラーメン
57	札幌市	工場	1025.0	1	9500	ラーメン	ブレース
58	室蘭市	工場	385.9	1	12600	ラーメン	ブレース
59	士別市	工場	540.0	1	5650	ラーメン	ラーメン
60	千歳市	学校	803.1	2	3400	ラーメン	ラーメン
61	北斗市	作業場	320.5	1	4950	ラーメン	ラーメン
62	北見市	倉庫	306.9	1	7927	ラーメン	ブレース
63	北見市	事務所	408.0	1	8300	ラーメン	ラーメン
64	奈井江町	工場、事務所	11234.7	1	8170	ラーメン	ブレース
65	旭川市	保育園	858.3	2	3600	ラーメン	ラーメン
66	旭川市	事務所	408.2	2	3600	ラーメン	ラーメン
67	札幌市	飲食店	597.7	2	3700	ラーメン	ラーメン
68	小清水町	工場	816.8	1	9000	ラーメン	ラーメン
69	旭川市	保育園	646.5	2	3600	ラーメン	ラーメン
70	札幌市	倉庫	613.4	1	9650	ラーメン	ブレース
71	石狩市	倉庫	259.2	1	5500	ラーメン	ブレース
72	深川市	事務所	494.0	2	3950	ラーメン	ラーメン
73	札幌市	工場、事務所	1475.0	3	4000	ラーメン	ラーメン
74	余市	工場	5579.2	1	8050	ラーメン	ブレース
75	沼田町	店舗	2125.1	2	4000	ラーメン	ラーメン
76	札幌市	倉庫	3810.4	2	5215	ラーメン	ラーメン
77	富良野市	貯蔵庫	1808.0	1	12300	ラーメン	ブレース
78	札幌市	工場	2211.9	2	4700	ラーメン	ラーメン
79	砂川市	倉庫	198.0	1	6000	ラーメン	ラーメン
80	函館市	事務所	717.8	2	3860	ラーメン	ラーメン
81	札幌市	工場	699.0	1	9800	ラーメン	ブレース
82	留萌市	工場	738.0	1	5200	ラーメン	ラーメン
83	室蘭市	事務所	416.7	3	2660	ラーメン	ラーメン
84	苫小牧市	倉庫	4494.7	1	6610	ラーメン	ラーメン
85	苫小牧市	倉庫	4460.4	1	6600	ラーメン	ブレース
86	旭川市	工場	1293.7	1	9580	ラーメン	ラーメン
87	八雲町	工場	3886.6	1	7215	ラーメン	ブレース
88	八雲町	工場	1062.7	2	3900	ラーメン	ラーメン
89	旭川市	倉庫	2880.0	1	8380	ラーメン	ラーメン
90	札幌市	倉庫	65653.1	2	6600	ブレース	ブレース
91	室蘭市	事務所	2843.5	2	5500	ラーメン	ラーメン
92	苫小牧市	倉庫	1497.2	1	7487	ラーメン	ラーメン
93	札幌市	店舗	2023.7	2	4700	ラーメン	ラーメン
94	札幌市	事務所	1000.4	3	3300	ラーメン	ラーメン
95	函館市	倉庫	934.7	1	9020	ラーメン	ブレース
96	紋別市	工場	1182.0	1	10700	ラーメン	ラーメン
97	安平町	事務所	782.4	2	3950	ラーメン	ラーメン
98	千歳市	車庫	350.6	1	6495	ラーメン	ラーメン
99	室蘭市	図書館	619.9	2	4000	ラーメン	ラーメン
100	苫小牧市	倉庫	32857.3	1	6600	ラーメン	ラーメン

1 棟の建築物には、様々なスパン長さ、部材サイズの鉄骨材が存在しているが、今回の調査においては、張り間、けた行方向のスパン長さが平均的な位置（同一スパン長さの頻度が多い位置）、またはスパン長さが不揃いの建築物については最大のスパン位置の架構を代表スパンとして、当該位置のスパン長さと部材サイズ等を集計した。

4) 調査・分析結果

調査・分析した低層鉄骨造建築物の建物概要を以下に示す。1 階建ての建築物が約 45%、2 階建てが 40%で併せて 90%（図 4-2）、延べ床面積は、1,000 ㎡未満の建築物が約 50%（図 4-3）で、建物用途は工場、倉庫、事務所の順（図 4-4）のサンプルとなっている。

架構形式は両方向ラーメン架構が 70%（図 4-5）を占めている。これは、ブレース架構はプランに制約されることもあり、プランの自由度の高いラーメン架構が採用されていることが推察される。梁に使用されている鋼種は、梁間・けた行方向ともに SS400 が約 70%（図 4-6, 4-7）、柱は角形鋼管が多く BCR295 が約 75%（図 4-8）であった。道内の鉄骨造低層建築物の梁材は、SN 材の使用頻度は低く廉価な SS 材が未だ主流となっている。

また、代表的な張り間方向のスパン長さは 10～15m が最も多く、代表的なけた行方向のスパン長さは 5～6m が最も多く 7m 未満が 50%となっている（図 4-9、図 4-10）。

張り間、けた行き方向別にスパン長さごとに使用されている梁のサイズの分布状況を調査した結果を表 4-3、4-4 に示す。

張り間方向で使用されていることが多いスパン長さ 10～15m 範囲では、H-588×300、H-488×300 の梁が、けた行方向で使用されていることが多いスパン長さ 5～7m の範囲では H-300×150、 H-350×175、H-400×200 の梁が多く使用される傾向があることがわかった。なお、柱には□350～400 サイズの角形鋼管が使用されていることが多い（表 4-5）。また、鉄骨柱の柱脚に関しては、プレートで製作する露出柱脚が 54%、次いで既製品の露出柱脚が 29%と露出柱脚が合計 83%であった（図 4-12）。低層の工場、倉庫ではより廉価なプレートで制作するベースプレートが好まれている傾向がある。

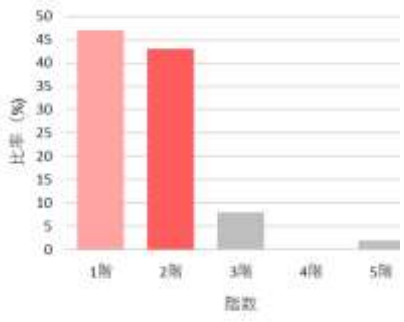


図 4-2　階数別分布

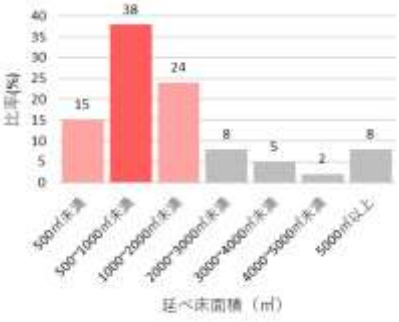


図 4-3　延べ床面積別分布

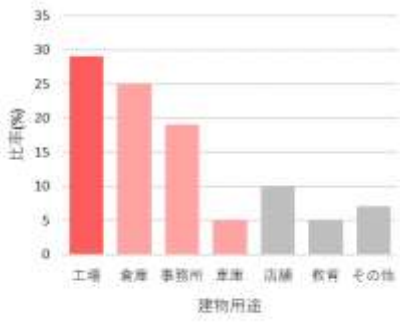


図 4-4　用途別面積分布

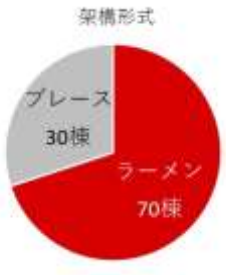


図 4-5　架構形式



図 4-6　梁材の鋼種（梁間）



図 4-7　梁材の鋼種（けた）



図 4-8　柱材の鋼種

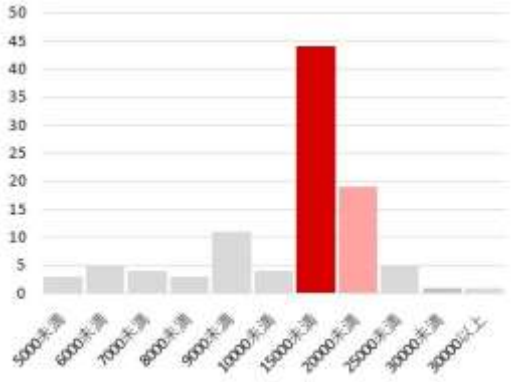


図 4-9　張り間方向スパン長さの分布

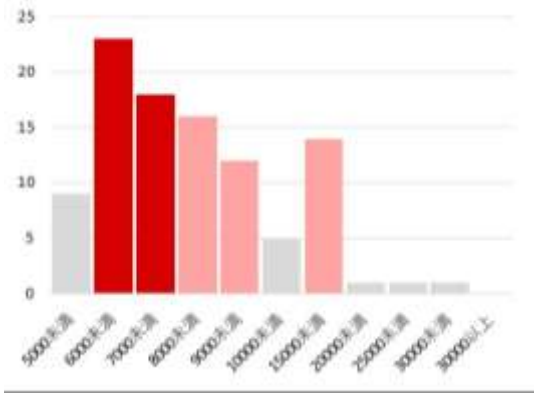


図 4-10　けた行方向スパン長さの分布

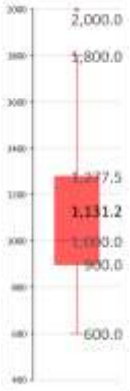


図 4-11　基礎梁せい

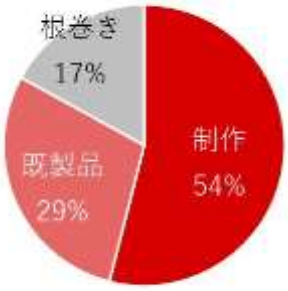


図 4-12　柱脚形式

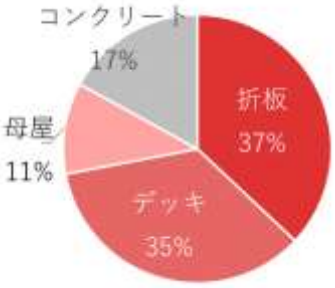


図 4-13　最上階の屋根形式

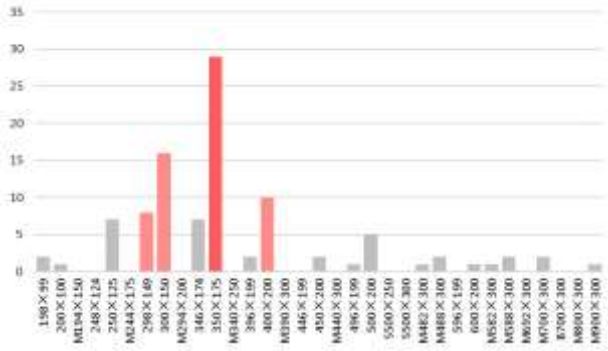


図 4-14　鉄骨小梁形状の分布

最上階の屋根形式、柱脚の形式、小梁のサイズおよび基礎梁せいについても調査・分析した。

最上階の屋根形式は、折板とデッキルーフで約 72%、母屋形式の金属屋根が 11%とコンクリートを使用した合成デッキスラブの使用頻度が少ないことがわかる（図 4-13）。

鉄骨小梁のサイズは、H-350×175 が 29%であり、H-250×125～ H-400×200 までの梁が主に使用されていることが多い（図 4-14）。

基礎梁せいは、600mm～1,800mm に分布し、平均高さが 1,131mm であった（図 4-11）。

また、層間変形角は、梁間方向の平均値は 0.00289rad（1/346）、けた行き方向の平均値は 0.00269rad（1/371）であった。けた行き方向の層間変形角が小さいのは、架構形式のブレース架構が多いことが影響している（図 4-15）。

ルート 3（保有水平耐力設計）で設計された建築物の Ds 値と保有水平耐力／必要保有水平耐（以下 Qu/Qun とする）の分布についても分析をした。

Ds 値は、張り間方向では、53%が DS 値が 0.4 であるが、けた行方向では 32%となっている（図 4-17）。また、Qu/Qun は張り間方向では平均値が 2.01、けた行方向では 1.69 となっている（図 4-16）。これらの傾向は、張り間方向のスパン長さが長いことにより、梁の横保有耐力横補剛を満足できないこと等から Ds 値＝0.4 が多くなっているが、長期応力の影響が大きいため Qu/Qun が多少余裕のある値になっていると推察できる。

表 4-3　張り間方向スパン長さと鉄骨梁サイズの分布

張り間方向	梁形状																					
スパン長	300×150	350×175	M340×250	400×200	M390×300	450×200	440×300	500×200	S500×300	488×300	600×200	600×250	582×300	588×300	692×300	700×300	792×300	800×300	900×300	912×300	BH100	トラス
～5000	1	1			1																	
6000	1					2		1		1												
7000		2		1		1																
8000						2	1															
9000				1		2	1	3		2				2								
10000										2				2								
11000				1	1		1	1	1	2		1		2								
12000										2	2		1	4			1			1		
13000				1			1	1		1				5	1	3					1	
14000			1					1								1		1				
15000														2		2		1				
16000						1							1	1								
17000											1			4					1			
18000														1					1			
19000																2						
20000														1	2	1			1	1		
25000														1				1	2		1	
25000～																			1			1
合計	2	3	1	4	2	8	4	7	1	10	3	1	2	25	3	9	1	3	6	2	2	1

表 4-4　けた行き方向スパン長さと鉄骨梁サイズの分布

けた行方向	梁形状																					
スパン長	M194×150	250×125	M244×175	300×150	M294×200	346×174	350×175	M340×250	400×200	450×200	440×300	500×200	S500×250	482×300	488×300	600×200	588×300	692×300	700×300	800×300	BH100	トラス
～5000		3	1	3			2															
6000	1	1		6	2		4	1	3	3	1	1										
7000				2		1	2		8	1	3						1					
8000		1		1	1	1	2		2	2	1	2	1		1		1					
9000								1	3	3		1		1	2		1					
10000							1		1			1			1		1					
11000												2				1			1		1	
12000											1								1	1		
13000																1						
14000																	2		2			
15000																		1				
16000																		1				
17000																						
18000																						
19000																						
21000																				1		
25000～																					1	
合計	1	5	1	12	3	2	11	2	17	9	6	7	1	1	4	2	6	2	4	2	2	0

表 4-5　張り間方向スパン長さと鉄骨柱サイズの分布

張り間方向	柱形状																
スパン長	□250	□300	□350	□400	□450	□500	340×250	390×300	440×300	400×400	488×300	588×300	692×300	700×300	800×300	900×300	900×400
5000	1			1					1								
6000		1	2	1	1												
7000	2	1	1														
8000			3														
9000		5	4	1				1									
10000		1	2	1													
11000			3	3			1	2	1								
12000			6	2	2	1											
13000		2	4	3	1	1					1	1					
14000				2				2									
15000		1		3								1					
16000	1		1									1					
17000		1	2		2			1									
18000				1		1											
19000				1										1			
20000			1	2	1								2				
25000												1			2	2	
25000－										1						1	1
合計	4	12	29	21	7	3	1	6	2	1	1	4	2	1	2	3	1

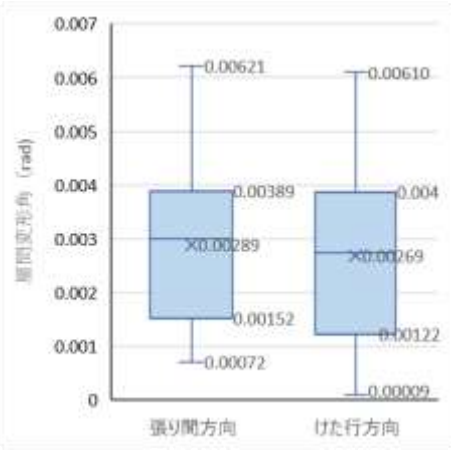


図 4-15　層間変形角（1 階）の分

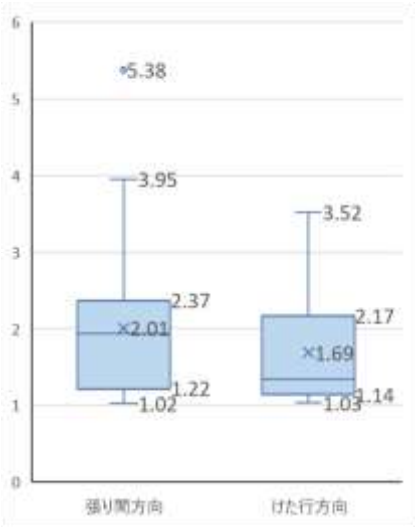


図 4-16　Qu/Qun (1 階) の分布



図 4-17　Ds 値（1 階）の分布

5) まとめ

判定実績から調査した道内の低層鉄骨造建築物は 2 階建て以下の延べ床面積が 1,000 ㎡前後で用途が工場・倉庫の建築物が多いことがわかった。また、張り間方向スパンが 10～15m、けた行方向が 5～7m が多く張り間方向の鉄骨梁には H-588×300、けた行方向の鉄骨梁には H-400×200、小梁には H-350×175、柱には角形鋼管で□350×350 が使用されていることが多いことが明らかになった。

層間変形角は 1/800～1/250 の範囲で平均が 1/350 程度で設計されていることが多い。また、ルート 3 で設計された低層鉄骨造建築物は、Ds が 0.4 で設計され Qu/Qun は 1.7～2.0 程度に多く分布していることがわかった。

これらの情報は、業務経験の少ない特定行政庁の確認審査担当者または構造設計者にとって、設計及び審査の目安になる。さらに、ゼロカーボン北海道、SDGS への取り組みの一貫として、鉄骨部材のリユースの可能性を検討する際の基礎資料となる。また、公共建築だけではなく民間の建築物における木材の利用促進を図るための、鉄骨造建物を木造化する場合のプランニング等の基礎資料となる。

[参考文献]

1) 森松信雄　他：建築確認構造申請の技術的支援と道内建築物の安全性向上のための特性分析, 地方独立行政法人北海道立総合研究機構　北方建築研究所　調査研究報告，No.405，2020.3

５．鉄骨造露出型柱脚の鉄筋コンクリート造柱型の側方破壊挙動の実験

1) 目的

鉄骨造露出型柱脚は、鉄骨柱からベースプレートとアンカーボルトを介して応力を基礎へ伝達する。アンカーボルトには引張軸力とせん断力が同時に作用する。せん断力に対してベースプレート下の摩擦力が不足した場合には、直接圧縮側のアンカーボルトのせん断抵抗によって鉄筋コンクリート造柱型へ伝達することになる。そこで、アンカーボルトと柱型の端あき距離が不足しているとコンクリート側方破壊を起こすことが知られている（図 5-1)。



図 5-1　柱型の破壊形式

構造設計者への過去のヒアリング調査の結果、従来の柱型よりも柱型のサイズが大きくなり意匠的にも問題が発生することがあり設計が難しいとの意見が多数聞かれた。また、技術基準解説書の式はコンクリート断面のみの耐力式であり、せん断補強筋の補強効果を考慮してよいのでは等の意見が挙げられた。

一部の論文 [5~8] などで検討式が提案されているが、この破壊形式に対する検討式が「2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書」[1]（以下、技術基準解説書）に明記され、一般的に柱型部の構造設計に広く適用されている。この側方破壊に関しては、各種合成構造設計指針・同解説（以下、合成指針）等 [2)~4)] で耐力評価式が示されている。また、多くの研究 [5)~8)] が既に実施されているが、せん断補強筋の効果について検討した例は少ない。既往の研究では、端あき距離や縁端距離が側方破壊耐力に大きく影響し、柱型内のアンカーボルト周辺にせん断補強筋を配筋することによって、靭性があがることが確認されている。

当センターでは、これまでに鉄骨造露出型柱脚の鉄筋コンクリート造柱型の側方破壊挙動の把握のための構造実験を行っている [9)]。その結果、既往の研究結果と同様にせん断補強筋の量が、側方破壊の最大せん断耐力に与える影響は少ないが、ひび割れ後の柱脚部の靭性向上に繋がることがわかった。しかし、建築学会式のせん断耐力式を下回る試験体もあり、縁あき距離が耐力に与える影響が課題であった。

そこで本研究は、さらにせん断補強筋の量、アンカーボルトの端あき距離、縁端距離をパラメーターとして試験体数を増やし破壊挙動を把握をすることを目的としている。なお、柱型の側方破壊耐力の確認実験の一部を一般構造設計者に公開した形式で行った（令和 3 年 3 月 25 日、令和 5 年 3 月 14 日)。数式などで確認しているせん断破壊について、実験で破壊形態を確認することは、破壊のイメージを掴むことになり実務設計者にとっては重要なことである。

2) 実験計画

試験方法を図 5-2、写真 5-1 に示す。アンカーボルトを支点とし、反対側のコンクリート端部にピン支承を設置し、その下にロードセルにて反力を計測している。加力点は試験体中央部とし、梁の両端ピン支持の 3 点曲げの形式としている。アンカーボルトに作用するせん断力は、試験体中央部の加力部のロードセルの荷重値から、ピン支承下部にあるロードセルの荷重値を引いた値としている。アンカーボルト側の下部の躯体に変位計を両側に設置し、変位を計測した。

加力は単調加力とし、荷重が最大荷重の 70%程度以下まで低下した場合か、実験が危険と判断される時点までとした。

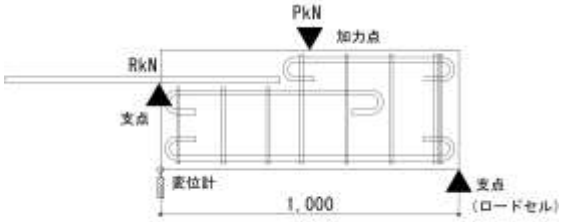


図 5-2　試験体加力概要



写真 5-1　試験体加力状況

本研究では、令和 2 年度と令和 4 年度に分け試験体を作成した。試験体形状を図 5-3、5-4、5-5 に示す。令和 2 年度シリーズ（以下 R2 シリーズ）は、試験体形状は B×D が 600mm×385mm を標準とし、R2-4-1、R2-4-2 のみ 600mm×435mm とした。主筋には D16（SD295）、せん断補強筋は D10（SD295）とし、アンカーボルトの代用として、D19（SD345）を使用した。アンカーボルトの設置位置は、端あき距離を 100mm を標準とし、R2-4-1、R4-4-2 のみを 150mm とした。縁端距離は 200mm を標準として R2-2-2 のみ 150mm とした。せん断補強筋は 2-D10@150 を標準とし、R2-1-2 はせん断補強筋が無い試験体とし、R2-2-1 はせん断補強筋が 2-D10@75 とした。R2-3-1,R2--3-2 にはアンカーボルトを拘束するために、コ型補強筋を配置した試験体とし全 8 種類とした。

令和 4 年度（以下 R4 シリーズ）の試験体形状は B×D が 400mm×385mm（R4-3-1、R4-3-2、R4-4-1）、500mm×385mm（R4-1-1、R4-1-2、R4-2-1、R4-2-2）、600mm×385mm（R4-5-1、R4-5-2）とし、アンカーボルトの設置位置は端あき距離は 100mm を標準とし、R4-4-1 は端あき距離を 200mm とした。縁端距離は

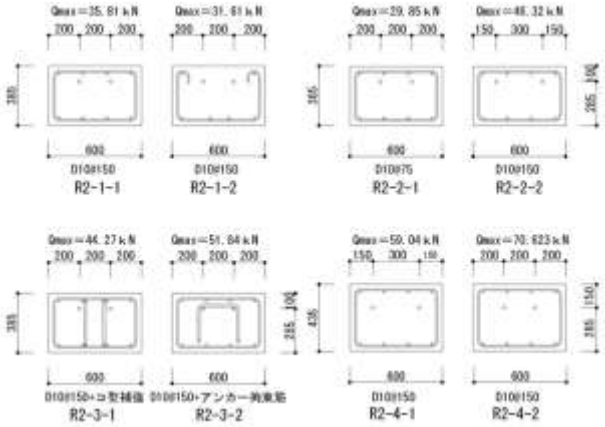


図 5-3　試験体断面図（R 2 シリーズ）

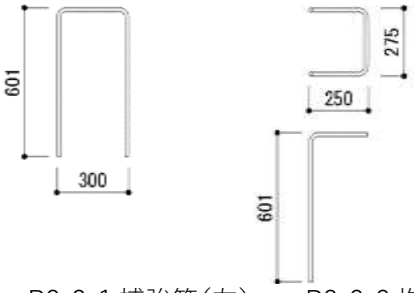


図 5-4　R2-3-1 補強筋（左）　R2-3-2 拘束筋（右）
コ型補強筋 D16　拘束筋 D16

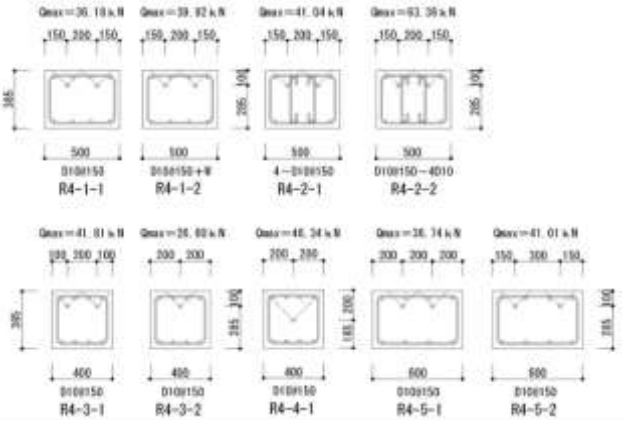


図 5-5　試験体断面図（R 4 リーズ）

150mm を標準とし R4-3-1 は 100mm、R4-5-1 は 200mm とした。せん断補強筋量については、D10@150 を標準としている。R4-1-2 は、せん断補強筋 2-D10@150 に最外端のみ 2-D10 二重巻き（W）、R4-2-1 は D10@150 に最外端のみ 4-D10、R4-2-2 は 4-D10@150 としている。また、R4-3-2、R4-4-1 はアンカーボルトを 1 本配置とし比較試験体とし、全 9 種類とした。なお、主筋には D16（SD295）、せん断補強筋は D10（SD295）、アンカーボルトは ABR400-M24 を使用し

た。R2、R4 シリーズともに、コンクリートの設計強度は Fc21 とした。使用したコンクリートの材料試験結果は、23.4N/mm^2、26.9N/mm^2、25.6N/mm^2、平均が 25.3N/mm^2 であった。ただし、R2 シリーズは、コンクリートのコアサンプルを採取したが、圧縮試験機の操作ミスで強度を測定することができなかった。

R2、R4 シリーズともに端あき距離が等しい試験体は、学会式 [2]のせん断耐力が等しくなるようにアンカーボルトの位置を決定している。

学会式によるせん断耐力は、コンクリートの設計基準強度に基づく計算値が、端あき距離が 100mm でアンカーボルト 1 本当たり 22.3kN（qa=0.31×√21×100^2×π×0.5）、150mm で 50.2kN（qa=0.31×√21×150^2×π×0.5）、200mm で 89.2kN（qa=0.31×√21×200^2×π×0.5）となる。なお、R4 シリーズのアンカーボルト M24 の公称値に基づいたせん断降伏耐力は、52.6kN／本になる。

なお、実際の試験体はアンカーボルト 2 本が配置されている。学会式で想定されているコーン状破壊面が重複しないように配置しているため、試験体の側方破壊耐力としては上記のせん断耐力の 2 倍になる。

3) 実験結果

本実験において、R4-4-1 以外の試験体すべてが、コンクリートの側方破壊（せん断破壊）に至った。R4-4-1 は、端あき距離が 200mm でアンカーボルトが 1 本であったため、アンカーボルトがせん断曲げ降伏したことによって変形が大きくなり側方破壊する前に載荷を中止している。

実験結果の一覧を表 5-1 に、荷重-変位曲線を図 5-6、5-7 に示す。また、実験終了時の写真を写真 5-2～5-18 に示す。

端あき距離が 100mm、アンカーボルト 2 本のタイプの設計基準コンクリート強度に基づく学会式による終局せん断耐力 44.6kN を上回った試験体は、R2-2-2、R2-3-2、R4-2-2 の 3 体のみであった。また、アンカーボルトが 1 本の R4-3-2 の試験体では学会式による終局せん断耐力を上回っている。

表 5-1　実験結果一覧

No	Q(kN)	Qs(kN)※1	Qu(kN)※2
R2-1-1	35.81	29.7	44.6
R2-1-2	31.61	29.7	44.6
R2-2-1	29.85	29.7	44.6
R2-2-2	46.32	29.7	44.6
R2-3-1	44.27	29.7	44.6
R2-3-2	51.84	29.7	44.6
R2-4-1	59.04	66.9	100.4
R2-4-2	70.623	66.9	100.4
R4-1-1	36.18	29.7	44.6
R4-1-2	39.92	29.7	44.6
R4-2-1	41.04	29.7	44.6
R4-2-2	63.36	29.7	44.6
R4-3-1	41.81	29.7	44.6
R4-3-2	26.6	14.9	22.3
R4-4-1	46.34	47.9※3	52.6※3
R4-5-1	36.74	29.7	44.6
R4-5-2	41.04	29.7	44.6

※1：短期せん断耐力（φ2＝2／3）
※2：終局せん断耐力（φ2＝1.0）
※3：アンカーボルトのせん断耐力

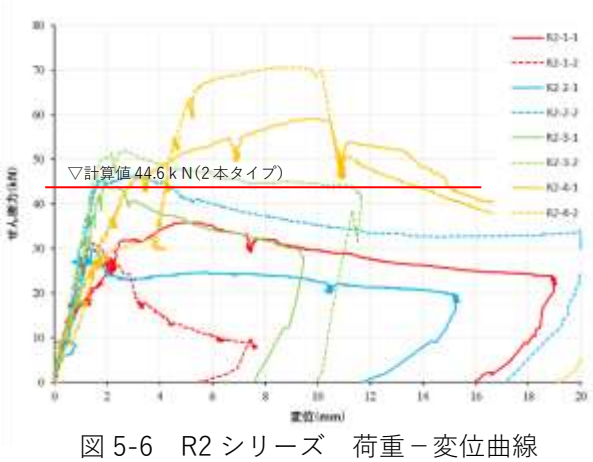


図 5-6　R2 シリーズ　荷重－変位曲線

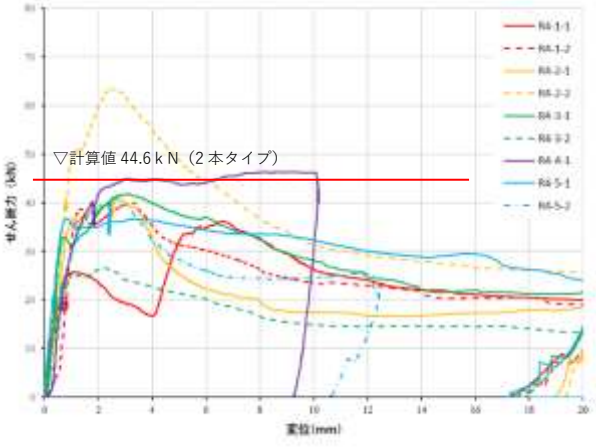


図 5-7　R4 シリーズ　荷重－変位曲線

また、R2-4-1 と R2-4-2 の端あき距離が 150mm の試験体では、アンカーボルトが先に降伏し変形が進行した後、最終的に側方破壊をしているが、学会式による終局せん断耐力を下回り、R2-4-1 では短期せん断耐力も下回っている。これらの原因は、今回の実験からは判断できなかった。今回の実験範囲では、学会式による終局せん断耐力は複数本のアンカーボルトによる列状に側方破壊する場合には危険側の評価になる可能性が推察される。

せん断補強筋の有無がせん断耐力に及ぼす影響については、R2-1-1 と R2-1-2 の結果より最大せん断耐力に及ぼす影響は小さいが、最大耐力後の耐力低下量はせん断補強筋有りの場合と比較して補強無しの場合の方が大きいことがわかり、せん断補強筋による靱性向上効果があることが推察される。

せん断補強筋の量が、せん断耐力に及ぼす影響については、R2-1-1（D10@150）と R2-2-1（D10@75）ではせん断補強筋量が多い R2-2-1 の耐力が小さい結果となっている。また、R4-1-1（D10@150）、R4-1-2（最外端を 2 重巻き）、R4-2-1（最外端を 4-D13）を比較すると最大せん断耐力に大きな差がないことから、せん断補強筋量が耐力に与える影響は小さいことが推察される。

なお、R2-3-1 と R2-3-2 では、アンカーボルト近傍に D16 のコ型補強筋（図 5-4）で補強し加力した。他の試験体と比較して最大せん断耐力はわずかに向上しているが、学会式のせん断耐力と同等のため、補強効果は少ないと推察した。

ただし、R4-2-2（4-D10@150）は、最大耐力が 63.36kN と学会式のせん断耐力を大きく上回っている。破壊面を確認したところ、柱形の主筋がコンクリート破壊面から露出していることから他の試験体よりもかぶりが薄かったことが考えられる。これら鉄筋が、アンカーボルトからのせん断力を負担した可能性があり、コンクリートのかぶり厚さがせん断耐力に影響する可能性を示している。

また、縁端距離がせん断耐力に及ぼす影響について考察する。R4-3-1（縁端距離 100mm）、R4-1-1（縁端距離 150mm）、R4-5-1（縁端距離 200mm）を比較する。縁端距離が一番短い R4-3-1 が最大耐力となり、R4-3-1 と R4-5-1 は同等の荷重となっていることから、今回の実験範囲の中では、有意な差は認められなかった。

なお、R4-1-1 については、荷重－変位曲線が、一度耐力を低下してから再び耐力が上昇し最大せん断耐力をむかえている。これらは、試験開始時点で試験体が多少傾き 2 本のアンカーボルトに荷重が均等に掛からず、1 本のアンカーボルトに偏って荷重が載荷されたことが原因である。1 本目がひび割れた後に、2 本目のアンカーボルトに荷重がかかり最大耐力となった。実験としては、載荷時のセットミスであるが、露出柱脚のボルト穴径はアンカーボルト径＋5mm とクリアーが大きいため、実状としてこのような事象が起こる可能性があることから、設計時には耐力の余裕を見込むことが重要と思われる。



写真 5-2　R2-1-1　終了時



写真 5-3　R2-1-2　終了時



写真 5-4　R2-2-1　終了時

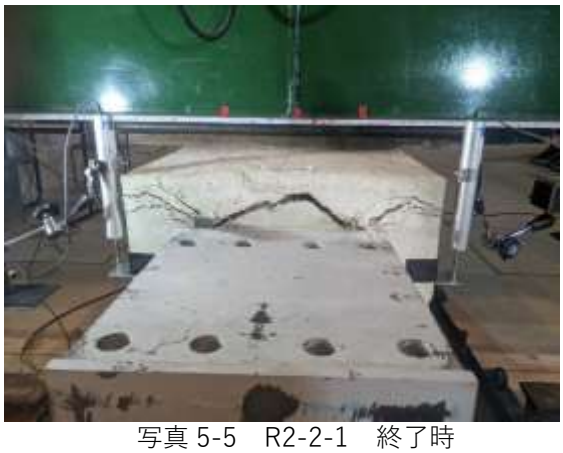


写真 5-5　R2-2-1　終了時



写真 5-6　R2-3-1　終了時



写真 5-7　R2-3-2　終了時



写真 5-8　R2-4-1　終了時

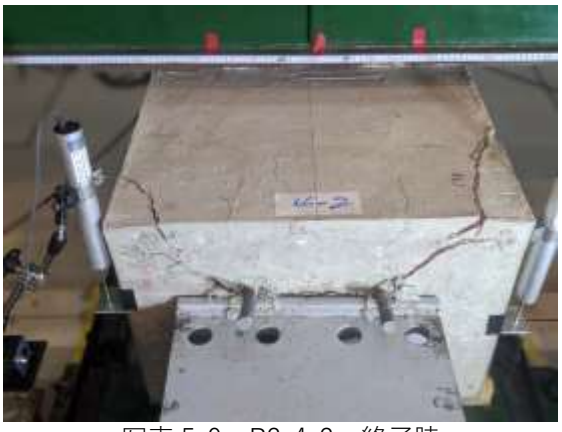


写真 5-9　R2-4-2　終了時



写真 5-10　R4-1-1　終了時



写真 5-11　R4-1-2　終了時



写真 5-12　R4-2-1　終了時



写真 5-13　R4-2-2　終了時



写真 5-14　R4-3-1　終了時



写真 5-15　R4-3-2　終了時



写真 5-16　R4-4-1　終了時



写真 5-17　R4-5-1　終了時



写真 5-18　R4-5-2　終了時

4) まとめ

今回実施した実験結果より、せん断補強筋の有無が最大せん断耐力に与える影響は少なく、せん断補強筋は最大耐力後の靱性向上に有効であるが、せん断補強筋の量が、最大せん断耐力及び最大耐力後の靱性向上に与える影響は小さいことが推察される。

また、学会式で想定している破壊性状は、アンカーボルトを基点に 45 度に広がる半円錐状の破壊面

を仮定しているが、本実験の範囲ではアンカーボルトを基点に 0～20 度方向（縁あき方向）にひび割れが進展してコンクリートの表層が剥離する破壊形状を示していることが、学会式の最大耐力を下回っている原因である可能性がある。

なお、縁端距離が最大せん断耐力に与える影響は小さいことが推察される。また、複数のアンカーボルトが一列に配置されている場合は群効果によって、有効破壊面を考慮した学会式の最大せん断耐力よりも低下することも考えられる。

これらより、柱形の側方破壊を防止するためには、設計時にはせん断耐力に余裕のある設計を心がけること、施工時にはアンカーボルト近傍に且つ上面にせん断補強筋を配筋することが望ましいと言える。

[参考文献]

1) 建築物の構造関係基準解説書編集委員会：2015 年版建築物の構造関係技術解説書

2) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説　2010

3) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針　2012

4) 日本建築学会：鋼構造柱脚設計施工ガイドブック 2017

5）秋山宏：鉄骨講座‘88 柱脚を考える、柱脚の耐震設計, 建築技術 No488、1988.12

6) 河野久、丸谷和秀、増田貫志：鉄骨構造露出柱脚におけるアンカーせん断抵抗力に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No567, pp.141-148, 2003.5

7) 浅田勇人、吉敷祥一、山田哲：鉄骨露出柱脚における鉄筋コンクリート基礎・アンカー系の側方破壊挙動, 日本建築学会構造系論文集, Vol.75, No654, pp.1517-1525, 2010.8

8) 浅田勇人、吉敷祥一、山田哲：鉄筋コンクリート基礎立上部に設置した引張ブレース付き露出柱脚のせん断抵抗能力, 日本建築学会構造系論文集, Vol.76, No665, pp.1347-1356, 2011.7

9) 森松信雄　他：建築確認構造申請の技術的支援と道内建築物の安全性向上のための特性分析, 地方独立行政法人北海道立総合研究機構　北方建築研究所　調査研究報告, No.405, 2020.3

６．まとめ

本研究の成果について以下に示す。

1） 構造設計関連の法令基準、構造設計基準・規準などにかかる改正・改定情報について、日本建築行政会議構造計算適合性判定部会作業部会への参加、国交省等のホームページなどを調査し情報を整理し取りまとめ、設計者向けの講習会で情報提供を行った。

2） R2～R3 年度に行った構造計算適合性判定物件を調査分析し、審査者側からの主な指摘事項を整理した。また、一貫設計プログラムによって出力される計算書内のワーニングメッセージ（注意・警告メッセージ）の例とその対応などを解説した資料を作成した。これらの資料を、審査者または設計者向けの講習会で配布・説明を行った。また、その一部をホームページで公開している。

3） 過去の判定物件より任意に抽出した 100 棟の低層鉄骨造建築物の構造特性調査を行った。代表的な部材で使用されている鉄骨の鋼種は SS400 が多いこと、張り間スパンの梁には H588×300 サイズが多く使われていることの他、代表的なスパンの分布を明らかにした。

4） 設計者から要望のあった鉄骨造柱脚の RC 柱形の側方破壊実験を行い、破壊性状について明らかにした。また、実験の一部について設計者に対して公開実験も行った。実験の結果をまとめ、設計者にセミナーで報告をした。

なお、本研究に関する成果については、令和 3 年 12 月 13 日及び令和 5 年 2 月 28 日に開催した「構造計算適合性判定業務に関するセミナー」、令和 4 年 9 月 9 日　一般社団法人　日本建築構造技術者協会北海道支部にて WEB によるセミナー、令和 4 年度の道受託業務の「建築確認構造審査の技術力の向上に関する業務」における北海道職員と特定行政庁の確認担当職員向けに研修会（令和 5 年 2 月 6 日～3 月 1 日、全 8 会場、参加者 68 名）で情報を提供した。

また、令和 5 年 2 月 28 日に開催した「構造計算適

合性判定業務に関するセミナー」の参加者へのアンケート結果より、建築基準法・基準等の改正・改定情報について関心が最も高いことがわかった。これからも、設計者及建築確認審査者に継続して建築構造に関する情報を提供し講習会等を開催することが重要と考える。

今後も、自治体や建築関係技術者と連携を図り、建築物の安全性向上に関する調査・研究を継続する必要がある。