

# 北海道の筋かい付鋼架構の設計に関するアンケート調査

## Survey on the design of steel braced frames in Hokkaido

岡崎 太一郎<sup>1</sup>, 亀岡 優人<sup>2</sup>, 緑川 光正<sup>1</sup>, 麻里 哲広<sup>1</sup>

1, 北海道大学大学院工学研究院

2, 北海道大学工学部

Taichiro Okazaki<sup>1</sup>, Yuto Kameoka<sup>2</sup>, Mitsumasa Midorikawa<sup>1</sup>, Tetsuhiro Asari<sup>1</sup>

1, Faculty of Engineering, Hokkaido University

2, School of Engineering, Hokkaido University

### Abstract

Structural engineers residing in Hokkaido were asked to answer 25 questions concerning the design and detailing of steel braced frames. Response was obtained, by post or email, from 59 out of 140 registered members of the Japan Structural Consultants Association. The data assembled in this report provides insight in the state of practice of braced frame design, from the range of application, design route of choice, design philosophy, brace arrangement, type of bracing members, to proportioning rules. Detailed data was collected for connection details in braced frames including beam-to-column connections, column base connections, and bracing connections.

*Key Words: Steel structures, vertical braces, survey, connections*

キーワード: 鋼構造建物, プレース, アンケート, 接合部

## 1. はじめに

筋かい付鋼架構は広く採用される耐震構造形式だが、近年の被害調査からも、地震で被害を受けやすいことが確認されている。2011年の東北地方太平洋地震のあとも、筋かい接合部に被害を受けた例が幾つも見られた<sup>1,2)</sup>。筋かい付鋼架構は、特にその筋かい接合部において、多様な力学上の設計要求を満たしつつ、柱・梁と筋かいの取り合いに配慮した施工性が求められる。数多ある規準や指針<sup>3,4)</sup>でも、筋かい付鋼架構に関する設計法が明快に示されていないために、さまざまな設計が混在しているのが現状である。そこで、筋かい付鋼架構について、設計の現状を把握し、耐震性能と経済性を両立させた設計法の

改善と向上に役立てるべく、北海道で活躍される建築構造設計者に対してアンケートを実施した。

以下、2章でアンケート方法を述べ、3章でアンケート集計結果を、簡単な考察とともに提示する。

## 2. アンケート方法

社団法人日本建築構造技術者協会北海道支部に協力いただき、北海道在住の同協会員140名に対して実施した。2014年8月8日前後に、郵便とEメールの二方法で、アンケート文面を配信し、回答期限を同年9月1日とした。9月4日までに59名から回答いただき、その他に、設計実務の経験がない、鉄骨造の設計実績がない、などの理由で回答を遠慮する旨の連絡をいただいた。回答率は42%であった。

アンケート内容は、Ⅰ. 回答者、Ⅱ. 筋かい付架構の使用範囲、Ⅲ. 筋かい付架構の設計と解析法、Ⅳ. 筋かい材、Ⅴ. 筋かい付架構の柱脚、Ⅵ. 筋かい接合部、の6項目、合計25の質問で構成された。

なお、本アンケートでいう筋かいは、水平力を負担する意図で、鉄骨の柱や梁に対して斜めに配置された角形鋼管、円形鋼管、H形鋼、平鋼、山形鋼、溝形鋼、ターンバックルなどを指し、筋かいや筋かい付架構には、下記のものを含まない。

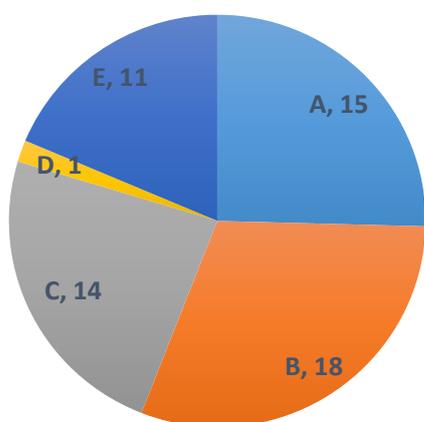
- 座屈拘束ブレース および 座屈拘束ブレースを筋かいに使用した架構
- 大スパン構造の屋根を支持する立体トラス
- 床や屋根の水平剛性・耐力を確保する水平ブレース
- 高層建物のアウトリガーを構成するトラス

### 3. アンケート集計結果

#### 3-1 ご回答者

質問 1. ご回答者さまのお立場について、該当するものに○印を付けて下さい。

- A. 構造設計を職業とされる個人
- B. 構造設計を業務とする法人を代表
- C. 法人内で構造設計を業務とする部署を代表
- D. 法人内で構造設計以外を業務とする部署を代表
- E. その他（具体的に記述してください）



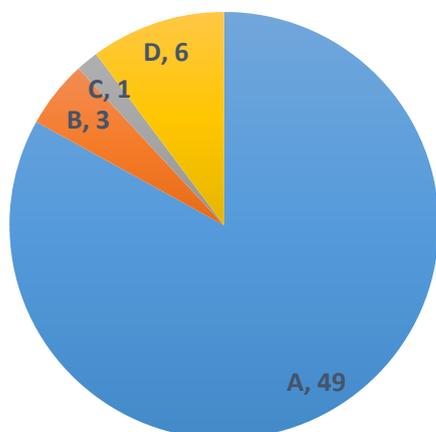
回答集計

#### 考察

59 名全員から有効回答をいただいた。Eには、構造設計を業務とする法人の取締役や、総括設計事務所の代表という記述をいただいた。退職された方、複数業務を経験してこられた方などもあった。様々な立場で構造に関わられる方々から回答をいただいた。

質問 2. ご回答者さまの業種について、該当するものに○印を付けて下さい。

- A. 設計事務所
- B. ゼネコン
- C. 鉄工所・ファブリーケーター
- D. その他（具体的に記述してください）



回答集計

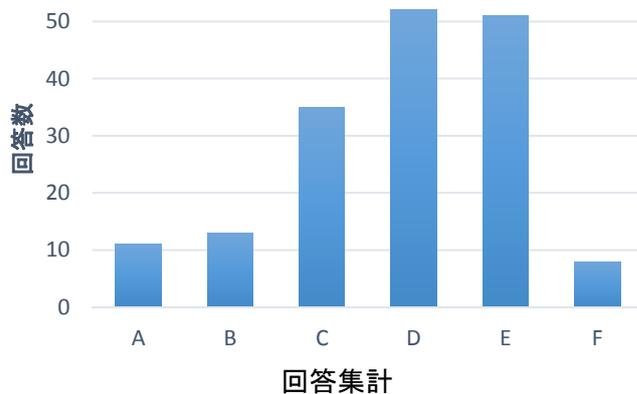
#### 考察

59 名全員から有効回答をいただいた。回答者の 8 割は設計事務所に所属される。Dには、研究機関や指定適判機関などの記述をいただいた。

### 3-2 筋かい付架構の使用範囲

質問 3. 筋かい付き架構を使用する建築物について、その主な建物用途に○印を付けて下さい。(複数回答可)

- A. 事務所
- B. 大規模店舗
- C. 駐車場
- D. 工場
- E. 倉庫
- F. その他（具体的に記述してください）

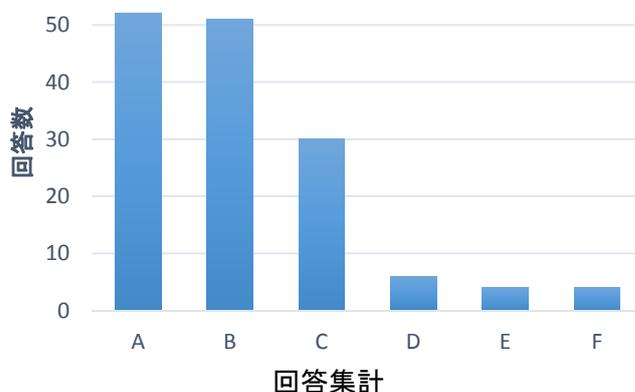


#### 考察

59名全員から有効回答をいただいた。筋かい付き架構が、事務所や大規模店舗より、駐車場、工場、倉庫で頻繁に使われる傾向が分かった。Fには、学校校舎、学校体育館などの記述をいただいた。

質問 4. 筋かい付き架構を使用する建築物について、該当する階数または軒高さに○印を付けて下さい。(複数回答可)

- A. 1階（階高は問わない）
- B. 2階（階高は問わない）
- C. 3～5階
- D. 5階～60m未満
- E. 60m以上
- F. その他（具体的に記述してください）

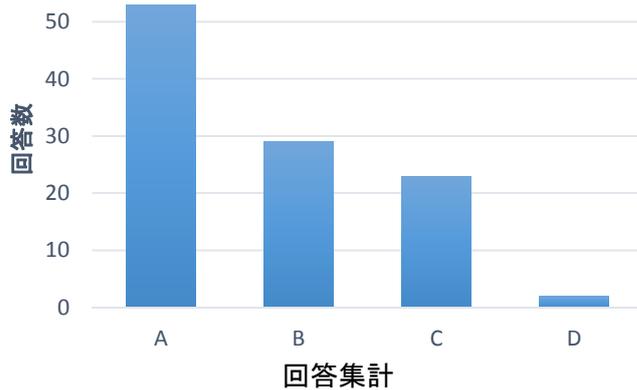


#### 考察

59名全員から有効回答をいただいた。筋かい付鋼架構が、低層の建築物により頻繁に採用される傾向が分かった。最下階柱脚の引き抜きや層間変位を考慮して検討するという追記もいただいた。

質問 5. 筋かいについて、該当する使用方法に○印を付けて下さい。(複数回答可)

- A. 引張側の強度のみを期待する。
- B. 圧縮側と引張側両方の強度を期待し、座屈させない。
- C. 圧縮側と引張側両方の強度を期待し、圧縮による座屈を考慮する。
- D. その他（具体的に記述してください）



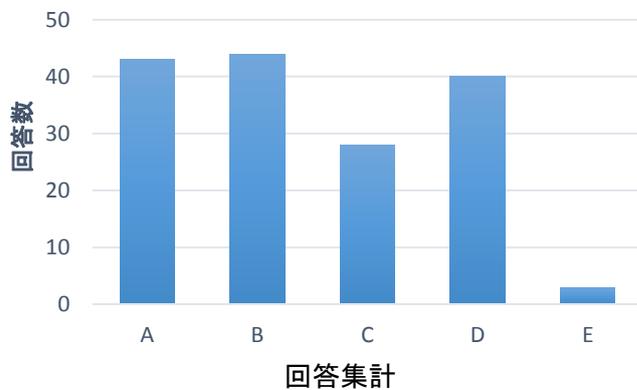
**考察**

59 名全員から有効回答をいただいた。引張ブレースとして使用するケースが多いが、半数の回答者は、圧縮側の強度に期待した設計も検討される。5 階程度で積載が多い場合や、耐震改修で圧縮強度を期待するという追記もいただいた。

**3-3 筋かい付架構の設計と解析**

質問 6. 筋かい付き架構に採用する設計ルートに○印を付けて下さい。(複数回答可)

- A. ルート 1-1
- B. ルート 1-2
- C. ルート 2
- D. ルート 3
- E. その他（具体的に記述してください）

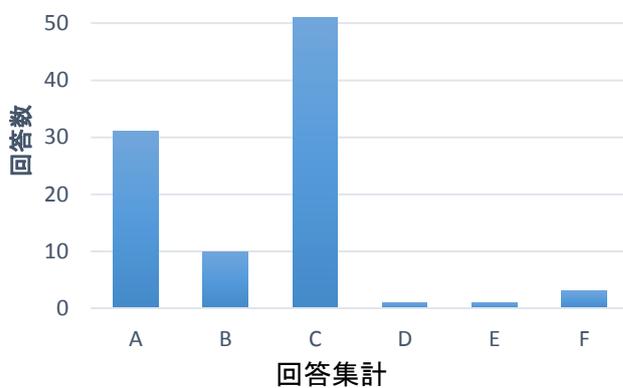


**考察**

59 名全員から有効回答をいただいた。いずれの設計ルートも採用されるようである。ルート 2 は、法改正後でメリットがなくなったために使わなくなったという追記もいただいた。E には、耐震改修法、時刻歴解析法という記述をいただいた。

質問 7. 筋かいが取りつく柱梁接合部について、該当する解析方法に○印を付けて下さい。(複数回答可)

- A. 剛接合として設計し、剛接合として解析する。
- B. 剛接合として設計し、ピン接合として解析する。
- C. ピン接合として設計し、ピン接合として解析する。
- D. ピン接合として設計し、半剛接合として解析する。
- E. ピン接合として設計し、剛接合として解析する。
- F. その他（具体的に記述してください）

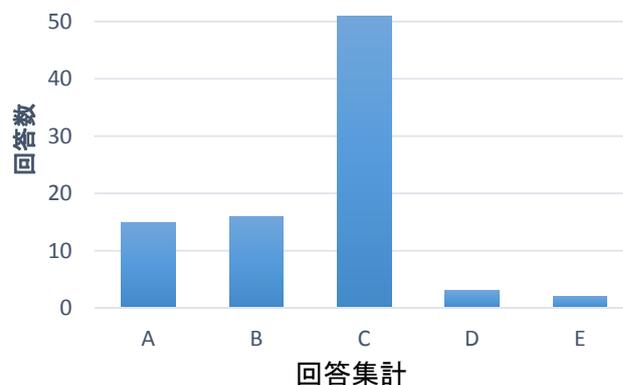


**考察**

59 名全員から有効回答をいただいた。特に軽微な構造では、ピンで設計しピンで解析することが多いようである。予想通り、A と C が多いが、B も 10 名に選択された。圧縮ブレースを採用する場合は剛接合にする、という追記を複数の方からいただいた。

質問 8. 筋かい端部について、該当するモデル化方法に○印を付けて下さい。(複数回答可)

- A. 剛接合として設計し、剛接合としてモデル化する。
- B. 剛接合として設計し、ピン接合としてモデル化する。
- C. ピン接合として設計し、ピン接合としてモデル化する。
- D. その設計に応じた剛性を適切に評価して、モデル化する。
- E. その他（具体的に記述してください）



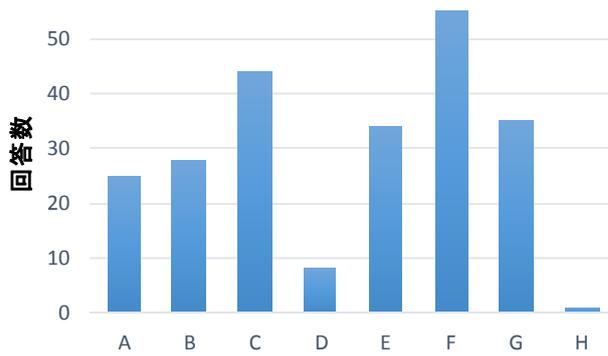
**考察**

58 名から有効回答をいただいた。C が圧倒的に多い。筋かい材に応じて、A と C を使い分けるといった追記もいただいた。B も 10 名に選択された。

### 3-4 筋かい材

質問 9. 筋かいに採用する鋼材に○印を付けて下さい。(複数回答可)

- |                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| A. 角形鋼管         | B. 円形鋼管               |
| C. H形鋼          | D. 平鋼                 |
| E. 溝形鋼          | F. 山形鋼                |
| G. 丸鋼 (ターンバックル) | H. その他 (具体的に記述してください) |



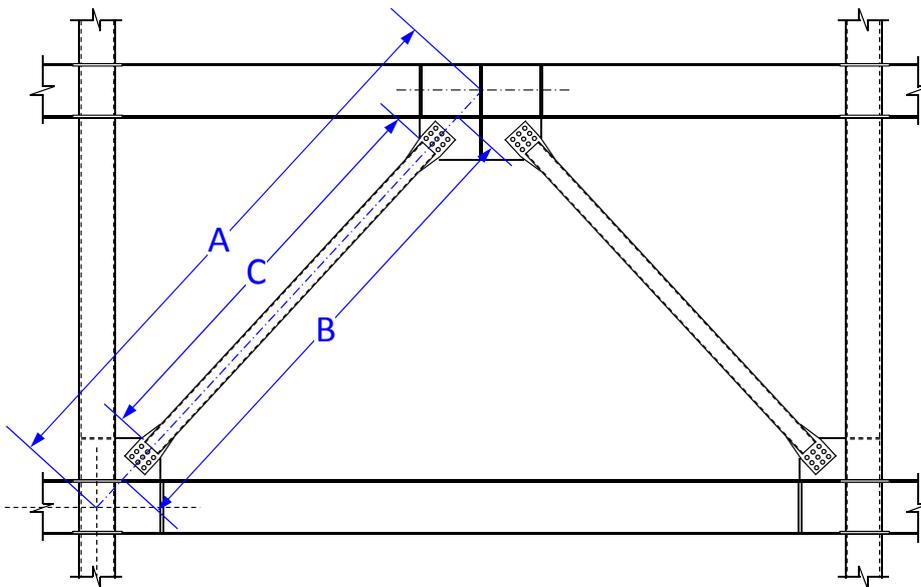
回答集計

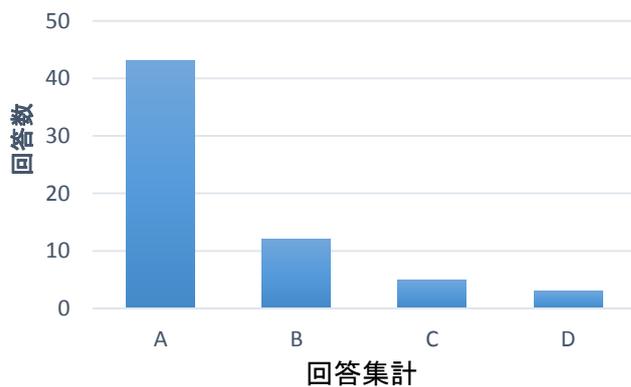
#### 考察

59名全員から有効回答をいただいた。あらゆる鋼材が筋かいに使われる。Hには、座屈拘束ブレースや制震ブレースという記述をいただいた。AからCは圧縮に期待する場合にのみ使用するという追記もいただいた。

質問 10. 筋かいの材長のとり方について、該当する方法に○印を付けて下さい。

- 接点間距離とする (接点とは、柱と梁の接点、隣接する筋かいとの交点)
- 柱や梁の内縁の間の距離 (内法) とする
- 接合部を除いた筋かいそのものの長さとする
- その他 (具体的に記述してください)





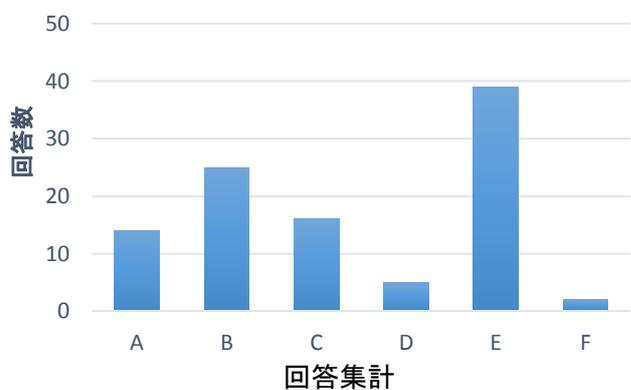
#### 考察

58名から有効回答をいただいた。Aを採用する方が圧倒的に多かった。解析にA・断面算定にBと使い分ける、面外座屈にC・面外座屈Bと使い分ける、という追記をいただいた。Dには、他のとり方も具体的に示していただいた。

質問 11. 筋かいに採用する細長比について、該当する範囲に○を付けて下さい。

(複数回答可)

- A. 50以下
- B. 50から100まで
- C. 100から150まで
- D. 200以上
- E. 特に配慮しない（引張側の耐力のみ期待するため）
- F. 特に配慮しない（その他の理由を、具体的に記述して下さい）

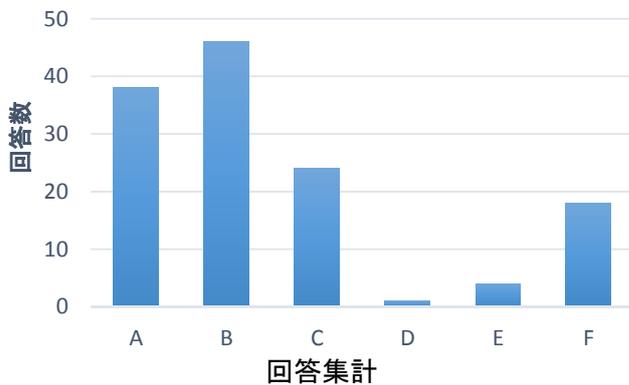
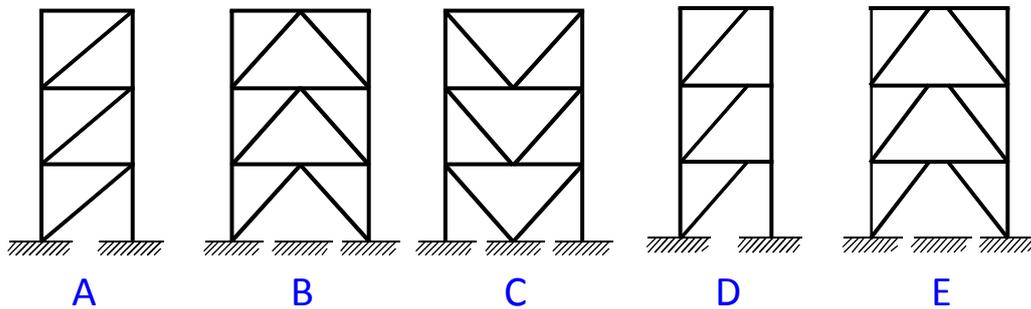


#### 考察

57名から有効回答をいただいた。引張ブレースとするため細長比を考慮しないという回答が多かった。圧縮強度を期待する場合は、せん断力、アンカーボルトの引抜力に注意するという追記をいただいた。

質問 12. 筋かいについて、採用する配置方法に○を付けて下さい。(複数回答可)

- A. 片流れ
- B. 逆V字形 (K形)
- C. V字形
- D. 偏心片流れ
- E. 偏心K形
- F. その他 (具体的に記述または図示してください)



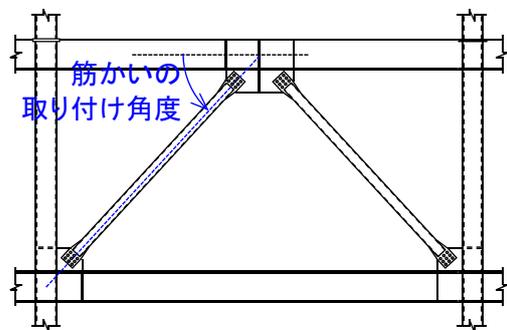
考察

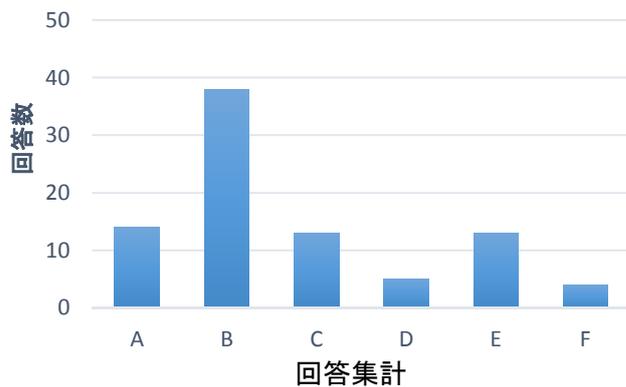
57名から有効回答をいただいた。片流れとK形が特に頻繁に使用される傾向が分かる。全ての形式を選択された回答者もあった。Fを選択された方のほぼ全員が、引張にのみ期待したX形と回答された。

質問 13. 筋かいの取り付け角度について、該当する範囲に○を付けて下さい。

(複数回答可)

- A. 30°~45°
- B. なるべく45°に近く
- C. 45°~55°
- D. 55°~65°
- E. 特に留意しない
- F. その他



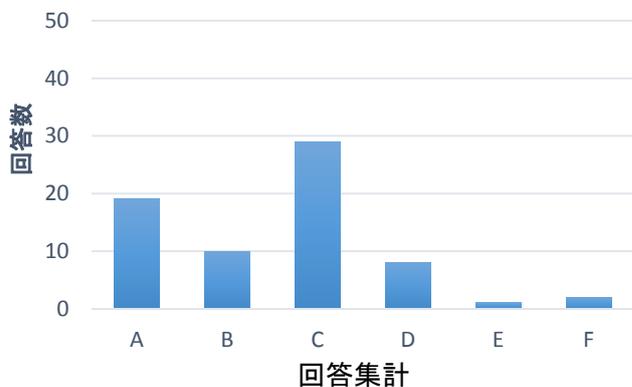


#### 考察

57名から有効回答をいただいた。なるべく45°という回答が多い。EやFには、35~55°、30~55°などの指標をいただいた。角度は受動的に決定されるもので、断面を大きくする、筋かいの設置個所を増やす、間柱を設置する、などの対策に苦慮したとの追記もいただいた。

質問 14. 筋かいの軸線の偏心について、該当する考えに○を付けて下さい。

- A. 一切許容しない。(必ず柱と梁の節点、または他の筋かいと梁の節点に一致させる。)
- B. 施工の都合を優先して、許容する。
- C. 施工の都合でやむを得ない場合に限り、許容する。
- D. 偏心ブレース構造とするために、適切に調整する。
- E. その他 (具体的に記述してください)



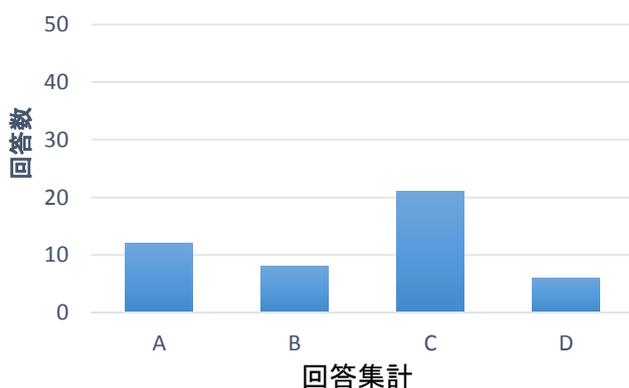
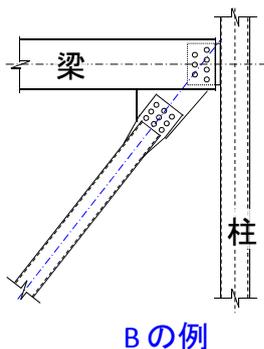
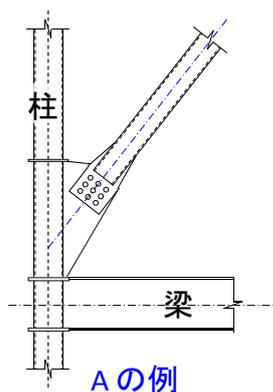
#### 考察

58名から有効回答をいただいた。Fには、施工性に考慮して柱フランジと梁フランジの交点を狙う、意匠性からゲージラインをずらす、などの回答をいただいた。二次応力が解析に影響する高層建築ではA、低層では、ガセットプレートを小さくするように偏心応力が処理できる範囲で偏心を許す、との追記をいただいた。

質問 (14) で A を選ばれた場合は、質問 (17) にお進みください。

質問 15. 筋かいの軸線の偏心を許容する場合、筋かい接合部を取り付ける位置に○を付けて下さい。

- A. 柱側だけにつける。                      B. 梁側だけにつける。  
 C. 柱側と梁側のいずれでもつける。    D. その他（具体的に記述してください）

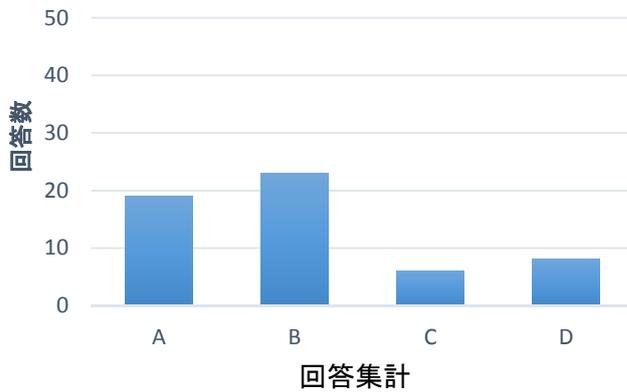


#### 考察

41 名から有効回答をいただいた。筋かいの軸線を偏心させる方法は、設計者によってさまざまである。D に、例図 A のディテールは露出柱脚である得るとの指摘をいただいた。例図 A、B ともに問題がるディテールだとの意見もいただいた。

質問 16. 筋かいの軸線の偏心を許容する場合、採用する偏心の処理方法に○を付けて下さい。（複数回答可）

- A. 偏心を解析モデルに反映する。  
 B. 筋かい接合部に補剛を施すことで、偏心に対処する。  
 C. 偏心の影響は、特に考慮しない。  
 D. その他（具体的に記述してください）



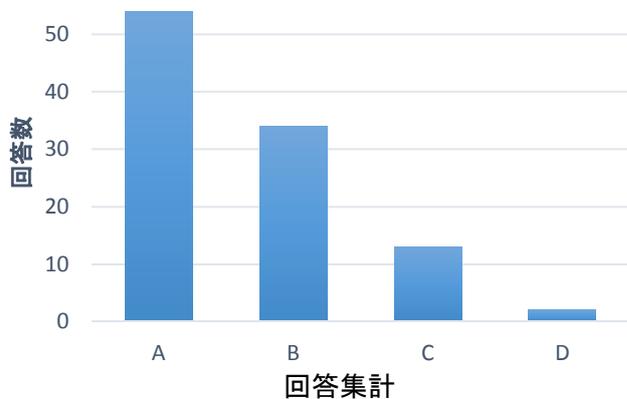
### 考察

43名から有効回答をいただいた。一貫構造計算プログラムで偏心を扱えないため、断面計算では別途、二次モーメントを考慮するという追記を多くの方からいただいた。偏心の影響が懸念される場合は任意解析プログラムで応力計算をする、応力算定には偏心を無視するが、軽微な構造では特に考慮しない、筋かい軸力が小さい場合に考慮しない、との追記も多くの方からいただいた。

### 3-5 筋かい付架構の柱脚

質問 17. 直交二構面のうち一方だけが筋かい付き架構（もう一方の構面はラーメン架構など）の場合、筋かいが取りつく柱脚に採用する接合部形式に○を付けて下さい。（複数回答可）

- A. 露出型
- B. 根巻き型
- C. 埋め込み型
- D. その他（具体的に記述してください）

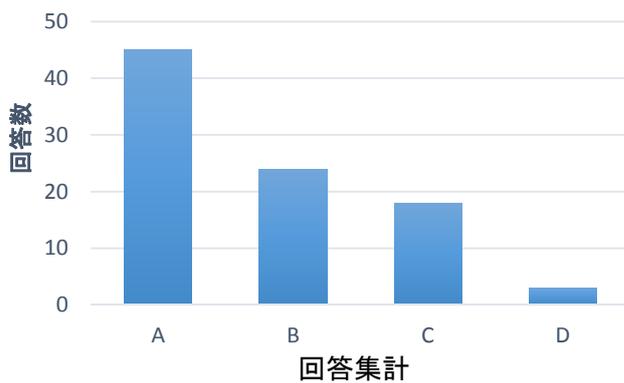


### 考察

58名から有効回答をいただいた。軽微な構造で露出型・高層で埋め込み型と使い分ける、認定工法の露出柱脚を採用する、という追記をいただいた。

質問 18. 直交二構面の両方が筋かい付き架構の場合、筋かいが取りつく柱脚に採用する接合部形式に○を付けて下さい。(複数回答可)

- A. 露出型
- B. 根巻き型
- C. 埋め込み型
- D. その他 (具体的に記述してください)

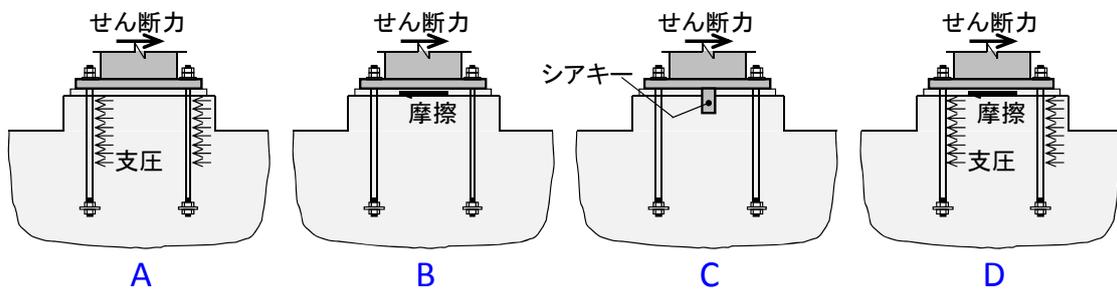


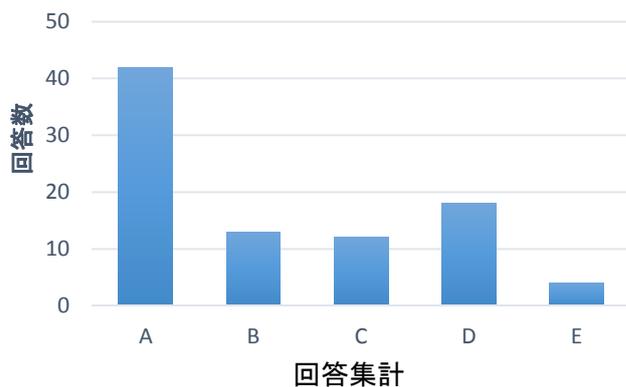
考察

57 名から有効回答をいただいた。質問 17 とほぼ同じ回答をいただいた。しかし、このような設計事例を経験したことがないという追記も複数の方からいただいた。

質問 19. 筋かいが取りつく柱脚に露出型を採用する場合、水平力への抵抗機構に○を付けて下さい。(複数回答可)

- A. アンカーボルトだけで抵抗する
- B. ベースプレートとモルタルの間の摩擦力だけで抵抗する
- C. ベースプレートの下に溶接したシアキーだけで抵抗する
- D. アンカーボルトと摩擦力の足し合わせで抵抗する
- E. その他 (具体的に記述してください)





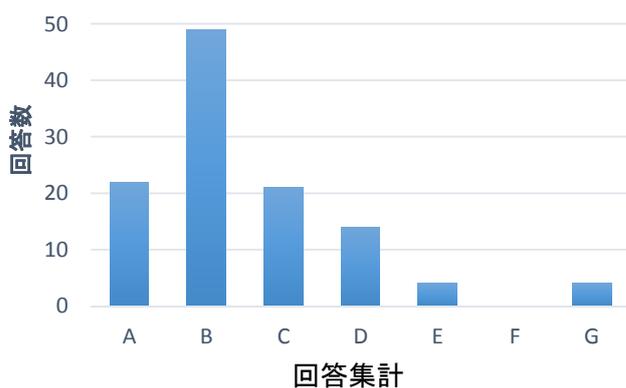
#### 考察

59 名全員から有効回答をいただいた。A が一般的だが、C も意外に多いようである。E には、A と C を併用するとの記述をいただいた。ブレース軸力が小さい場合は B もあり得る、という追記をいただいた。

### 3-6 筋かい接合部

質問 20. 筋かい接合部の設計で参照にする図書に○を付けて下さい。(複数回答可)

- A. 日本建築学会 鋼構造限界状態設計指針
- B. 日本建築学会 鋼構造接合部設計指針
- C. 日本鋼構造協会 実例でわかる工作しやすい鉄骨設計
- D. 日本鋼構造協会 鉄骨溶接接合部の標準ディテール (JSSC テクニカルレポート No. 42)
- E. 鉄骨建設業協会 建築鉄骨標準ディテール
- F. 米国 AISC 指針 Uniform Force Method
- G. その他 (具体的に記述してください)

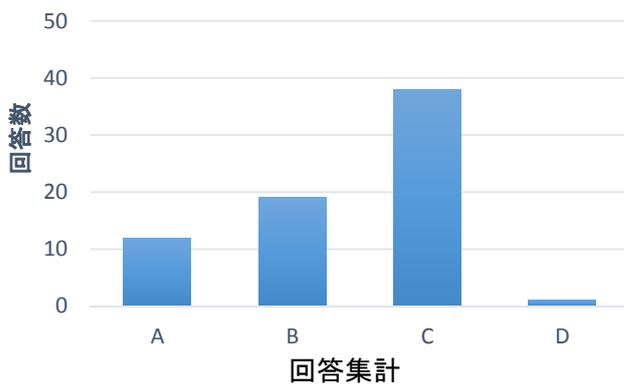


#### 考察

58 名から有効回答をいただいた。B が広く参考にされている。F は認知されていない。G には、「東京都建築構造設計指針」(通称「都指針」、  
「オレンジ本」) が挙げられた。

質問 21. 筋かい接合部について、該当する設計方法に○を付けて下さい。

- A. 社内で確立した標準設計図書の中から採用する。
- B. 社外の標準設計図書の中から採用する。(可能ならば、具体的に記述してください。)
- C. その都度、計算し設計する。
- D. その他 (具体的に記述してください)

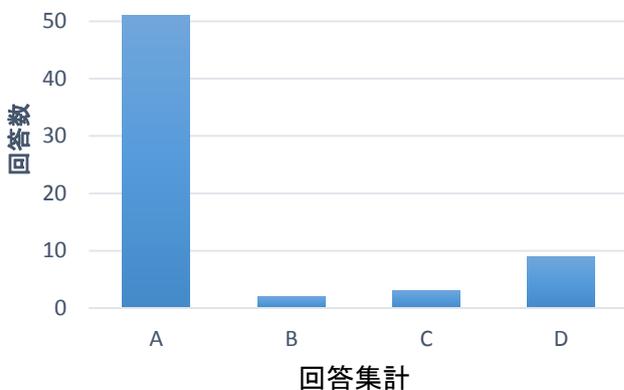


**考察**

58 名から有効回答をいただいた。その都度、計算し設計する方がほとんどである。

質問 22. 筋かいと架構の接合について、該当する接合形式に○を付けて下さい。

- A. 工場で、筋かい側と柱や梁側に別個のガセットプレートを溶接し、現場で、ガセットプレートどうしを高力ボルトで接合する。
- B. 工場で、筋かい側と柱や梁側に別個のガセットプレートを溶接し、現場で、ガセットプレートどうしを溶接する。
- C. 工場で、柱や梁にガセットプレートを溶接し、現場で、筋かいをガセットプレートに直接に溶接する。
- D. その他 (具体的に記述してください)



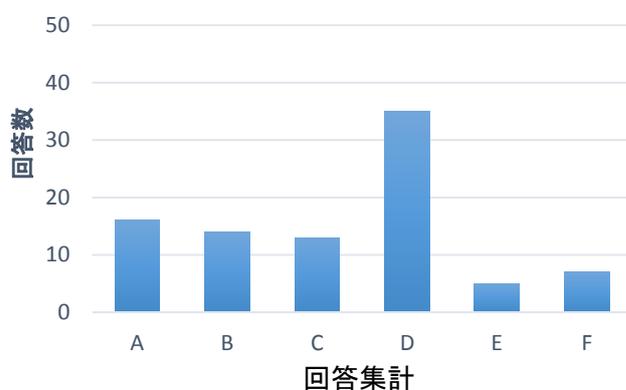
**考察**

57 名から有効回答をいただいた。A が圧倒的多数である。D には、筋かいが H 形鋼の場合、工場で端部を溶接し現場で中央をボルト接合する、ボルトで軸力を伝達できない場合は、やむなく現場溶接する、などの記述をいただいた。

質問 23. 筋かい接合部における筋かいの材端拘束について、該当する設計の考え方に

○印をつけて下さい。(複数回答可)

- A. 構面内に剛、構面外にも剛となるように設計する。
- B. 構面内にピン、構面外に剛となるように設計する。
- C. 構面内に剛、構面外にピンとなるように設計する。
- D. 特に配慮しない(筋かいの引張側の耐力のみ期待するため)
- E. 特に配慮しない(筋かいが座屈しない設計であるため)
- F. その他(具体的に記述してください。)



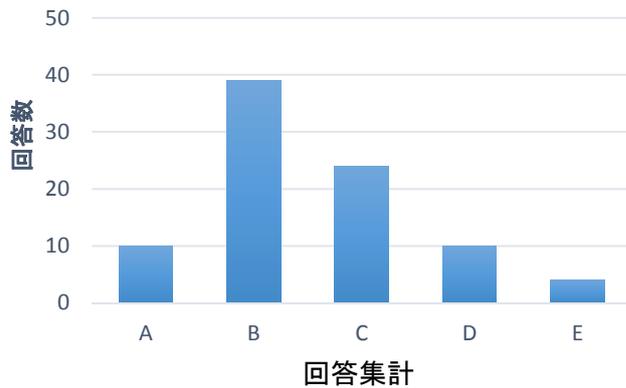
#### 考察

57 名から有効回答をいただいた。

F には、構面内外にピンとなる設計との記述をいただいた。

質問 24. ガセットプレートと柱や梁の溶接について、注意する要素に○印を付けて下さい。(複数回答可)

- A. なるべく柱か梁の一方だけに溶接する。
- B. ガセットプレートと梁や柱の溶接線(またはその溶接線の集合)を、軸力の作用線に対して偏心させない。
- C. ガセットプレートの縁における応力集中を避ける。(例えば、ガセットプレートの縁にスチフナを溶接する。)
- D. なるべく柱や梁への溶接線を短くする。
- E. その他(具体的に記述してください。)

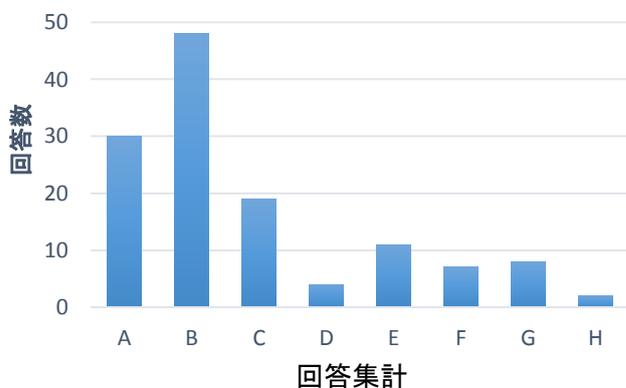


### 考察

56 名から有効回答をいただいた。偏心を避ける意識は高い。E には、場合によって鋼管柱にスチフナを設ける、必要な溶接長さを確保する、という記述をいただいた。A は軽微な構造の場合に限るという追記をいただいた。

質問 25. ガセットプレートの形状について、注意する要素に○印を付けて下さい。(該当する答の全て)

- A. 接合部に偏心を生じない形状とする。(例えば、一面せん断継手を避け、二面せん断継手とする。)
- B. 材軸に対して 30°に広がる応力の流れに合わせた形状とする。
- C. 剛な筋かい接合部とするため、スチフナを設けて十分に補剛する。
- D. 構面外あるいは構面内にピンとみなせる筋かい接合部とするため、可撓領域(折れ曲がり領域)を確保する。
- E. 力学上の配慮から、ガセットプレートをなるべく面的に小さくする。
- F. 意匠上の配慮から、ガセットプレートをなるべく面的に小さくする。
- G. 施工上の配慮から、ガセットプレートをなるべく面的に小さくする。
- H. その他(具体的に記述してください。)



### 考察

58 名から有効回答をいただいた。せん断応力の流れに対する意識は高い。ガセットプレートの局部座屈を避けるために、ガセットプレートを小さくする、またはガセットプレートの縁にスチフナを設ける、という追記を複数いただいた。

#### 4. まとめ

北海道で建築構造設計に従事される方々に対して、筋かい付鋼架構の設計法に関するアンケートを実施した。アンケート内容は、筋かい付架構の使用範囲、筋かい付架構の設計と解析法、筋かい材、筋かい付架構の柱脚、筋かい接合部、など多岐に亘った。

回答から、以下の現状がうかがえた。

- 筋かい付鋼架構は主に、簡易な構造や、工場、倉庫、それも一階か二階建てに使用されることが多い。その場合、筋かいの引張側の強度だけが期待される。
- 事務所や店舗建物にも、筋かい付鋼架構が使われることがある。
- 圧縮筋かいの座屈を考慮する設計も採用され、その場合、角形鋼管、円形鋼管、H形鋼が採用される。
- 筋かいの配置方法は、K形、片流れ、X形の順に好まれる。
- 筋かい接合部において、偏心を避けることへの意識は高い。
- 柱脚は露出型が最も多い。露出型では、アンカーボルトだけで水平力に抵抗する設計が主だが、シアキーも稀に使用される。
- 筋かい接合部は、現場で端部を高力ボルト摩擦接合する形式が、圧倒的に多い。
- 筋かい接合部について、鋼構造接合部設計指針などが参照されるが、その都度、計算し設計する設計者がほとんどである。

今後、さらに集計結果を分析し、追加アンケートを実施し、耐震性能と経済性を両立させた、筋かい付鋼架構の設計法の改善と向上に役立てる計画である。

#### 謝辞

本アンケート調査は、一般社団法人日本鉄鋼連盟・建築鋼構造研究ネットワーク北海道地区サブネットワークの活動の一環として実施した。アンケート実施に協力くださった社団法人日本建築構造技術者協会北海道支部に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 緑川光正, 岡崎 太一郎 (2012) 「2011年3月11日東北地方太平洋沖地震 建築物被害調査報告」北海道地区自然災害科学資料センター報告、30-75.
- 2) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会 (2014) 『東日本大震災合同調査報告 建築編3 鉄骨造建築物／シェル・空間構造』丸善出版株式会社.
- 3) 日本建築学会 (2010) 『鋼構造限界状態設計指針・同解説』丸善出版株式会社.
- 4) 日本建築学会 (2012) 『鋼構造接合部設計指針』丸善出版株式会社.