

本体構造物の架設時照査

(社)日本橋梁建設協会 架設研究委員会
瀧上工業(株) 西澤 正博

【要 旨】

本体構造物および仮設構造物の架設設計にあたっては、本体構造物の特性、現地架設条件を考慮して、荷重の設定、解析、安全性照査などを行わなければならない。鋼構造物の架設は、架設中の各段階において十分な安全性が確保されていることが必要である。

本講習では、本体構造物の架設時照査を行う場合の留意点、安全性照査事項を具体的に紹介するとともに、架設中における構造物の倒壊事故を防止するための セーフティ・アセスメント(安全性の事前評価)について述べる。

【内 容】

1. 架設時設計の進め方
 - (1) 架設時の不具合原因
 - (2) 不具合防止のために

2. 架設中の荷重と安全率、許容応力度

3. 架設時の安全性照査
 - (1) 架設中の構造系
 - ・設計上の構造系と異なる場合の検討
 - ・工事の進捗にしたがった構造系
 - ・事例紹介
 - (2) 架設中の安定照査
 - ・横倒れ座屈照査、全体横倒れ座屈照査
 - ・事例紹介
 - (3) 架設中の照査項目
 - ・事例紹介
 - (4) 架設中の変形

4. セーフティ・アセスメントとは
 - (1) 原因調査から事前評価へ
 - (2) 事前評価の進め方
 - ・安全指数による定量的な安全度評価

【参考文献】

- ・「鋼構造架設設計施工指針」 [2001年版] 平成14年3月 (社)土木学会
- ・「鋼橋のQ&Aシリーズ 架設編」 平成14年3月 (社)日本橋梁建設協会
- ・「鋼橋架設工事に係るセーフティ・アセスメントに関する指針・同解説」 昭和61年5月 建設業労働災害防止協会

本体構造物の架設時照査



(社) 日本橋梁建設協会
瀧上工業株式会社 西澤 正博

1. 架設時設計の進め方

(1) 架設時の不具合原因

- 完成系と架設中の各段階における構造物の強度・安定性との違いについての考慮不足
- 架設計画時の設定条件と実際との不一致
- 想定をこえた自然条件
(流水、強風、地震等)

施工の安全を損なう3要因

- (a) 設計不備および理解度不足
- (b) 施工の危険予知不足
- (c) 施工管理体制の不備

構造物倒壊の
主原因

(a) 設計不備および理解度不足

- 設計成果品の精度・照査
- 設計図書への理解度
- 設計図書の現地照合・変更処置
- 変更処置・図書の施工計画への反映

(b) 施工の危険予知不足

- 危険への意識度合
- 危険予知に対する事故防止体制

(c) 施工管理体制の不備

- 専門技術者の配置
- 適正な専門業者の選定
- 適正な施工機械・資機材の選定と使用方法
- 適正な作業員の配置と作業区分の設定
- 作業手順の周知と教育訓練の実施
- 工事進捗に合わせた設計図書・施工計画書との照合・修正
- 適正な工程管理と予算管理

(2) 不具合防止のために

- 工法選定時に考えた諸条件、施工時期、施工方法、仮設構造物の設定条件が実際と異なるか検討する。
- 施工中の本体構造物および仮設構造物の状態を把握し、施工工法の誤りがないよう、たえず技術的にチェックを繰り返して施工管理の万全を期する。



架設計画時に適切な検討を行うことが重要



セーフティ・アセスメントの活用

2. 架設中の荷重と安全率、許容応力度

架設中の荷重の種類

- 1. 基本鉛直荷重 (Po)
- 2. 風荷重 (W)
- 3. 地震の影響 (EQ)
- 4. 雪荷重 (SW)
- 5. 温度変化の影響 (T)
- 6. 照査水平荷重 (Ho)
- 7. 衝撃荷重 (I)
- 8. 摩擦力 (F)
- 9. 不均等荷重 (U)
- 10. 予想される特殊な荷重 (S)

安全率の考え方

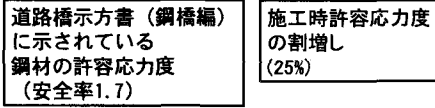
- トラブルの影響の大きさに決定する。
 - 荷重の考え方や計算法が正確でないときは安全率を増す。
 - 施工精度の良否も影響あり。
 - 架設機材については、製作精度、損耗度、現場での組立精度の不良等を考慮する。
 - 直接人命に関わる機材の安全率は大きくする。
- 例) 玉掛けワイヤーロープ 安全率 6
エレベータのワイヤーロープ 安全率 10

安全率の標準 (主なもの)

| 構造物、部材 | 照査項目 | 安全率 |
|------------|-----------------------|------|
| ① 鋼材 | 降伏点 (または耐力点) | 1.35 |
| ② 鉄筋コンクリート | 曲げ圧縮 | 2.4 |
| | 支圧 | 2.0 |
| ③ 基礎 | 直接基礎の極限支持力 | 2.4 |
| | 杭基礎の極限支持力 | 2.0 |
| | グラウンドアンカーの引抜き | 2.5 |
| ④ アンカーブロック | 転倒、浮き上がり | 1.2 |
| | 滑動 | 1.5 |
| ⑤ ワイヤロープ | 直吊り設備の主索およびその後方案の破断荷重 | 2.0 |
| | 直吊り設備の吊り索、控え索の破断荷重 | 4.0 |
| | 斜吊り設備の斜吊り索の破断荷重 | 2.0 |
| | 斜吊り設備の後方案の破断荷重 | 2.0 |
| | 斜吊り設備の控え索の破断荷重 | 4.0 |

安全率のポイント（鋼材の安全率）

鋼材の安全率: $1.35 \equiv 1.7 / 1.25$



安全率のポイント（鋼材の安全率）

- 本体構造物及び仮設構造物の架設計算は許容応力度法により行うのがよい。
- 架設時の鋼構造物の応力度は、材料の降伏点並びに座屈応力度を越えないものとする。

安全率のポイント（鋼材の安全率）

本体構造物、仮設構造物に関係なく、以下の事項に留意すること！

- 部材に変形や損傷がない。
- 設計上の配慮が本体構造物と同程度である。
- 溶接部、高力ボルトの施工管理が本体構造物と同程度である。

架設工法別に考慮する荷重の組合せ

| 工法別 | 基本組荷重 P ₀ | | | 不均等荷重 U | 衝撃荷重 I | 水平荷重 | | | 摩接力 F | 温度変化 T | 特殊荷重 S | 仮設備 | |
|---------|----------------------|------|-----|---------|--------|-------|---------------------|-----------------------|-------|--------|--------|-----|-----------------------------|
| | 鋼重 | 架設構材 | 仮設備 | | | 風荷重 W | 地震荷重 E ₀ | 照室水平荷重 H ₀ | | | | | |
| ベント工法 | △ | △ | △ | △ | | △ (△) | △ (○) | | | | | △ | ベント |
| 直ブリ工法 | △ | △ | △ | △ | | ○ | ○ | | | | | △ | 直ブリ設備(鉄塔、スライフ、メインフレーム、アンカー) |
| 斜めブリ工法 | △ | △ | △ | △ | | ○ | ○ | | | | | △ | |
| 片持ち式工法 | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | | | | | | 手延べ機、送出し設備 |
| 送出し工法 | △ | △ | △ | △ | | △ | △ | △ | △ | △ | ○ | | |
| 架設桁工法 | △ | △ | △ | △ | | △ | △ | △ | △ | | | | |
| 大ブロック工法 | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | |

(△): 考慮する場合がある荷重 ○: 本体構造物に作用する荷重 △: 仮設構造物に作用する荷重
土木学会 新体系土木工学39「鋼構造物の製作と施工」

許容応力度の割増し係数と安全率

| 荷重の組合せ | 割増し係数 | 安全率 (※) |
|---|-------|---------|
| P ₀ +S+W+H ₀ +T+F+U+S | 1.0 | 1.35 |
| P ₀ +S+W+H ₀ +T+F+U+S+I | 1.1 | 1.25 |
| P ₀ +W+F+U+S | 1.1 | 1.25 |
| P ₀ +E+Q+F+U+S | 1.3 | 1.05 |

(※) 鋼材の降伏点に対する安全率

土木学会 「鋼構造架設設計施工指針」[2001年版]

荷重の大きさが明確で、確実に作用するもの

荷重の大きさの推定は比較的容易だが、頻度はそれほど大きくないもの

荷重の大きさの推定が難しく、頻度がきわめて小さいもの

3. 架設時の安全性照査

設計手順と施工計画との関係

| 鋼構造物設計手順 | 現地据付けのための設計 |
|-----------------|-------------------------------|
| 1 構造系の決定 | 施工中の構造系 |
| 2 荷重の決定 | 施工中の荷重 |
| 3 構造の断面決定 | 施工中の応力 |
| 4 支点反力の計算 | 施工中の支点構造 |
| 5 各点のたわみチェック | 施工中の変形、剛性のチェック |
| 6 最大部材重量 | 輸送、施工機材の能力 |
| 7 最大部材寸法継手位置の決定 | 施工法から決まる継手位置 立地条件から決まる継手位置 |
| 8 継手の種類の決定 | 現地溶接、高力ボルト継手 |
| 9 詳細設計 | 施工のための部材補強取付け金具、マンホール、ハンドホール |

(1) 架設中の構造系

架設中の構造系が設計上の構造系と異なる場合、架設中の構造系について検討する必要がある。

特に、

- ・ 支持条件の明確化
(支点は可動? 固定? ヒンジ?)
- ・ 構造系の変換が確実に実施できるか?

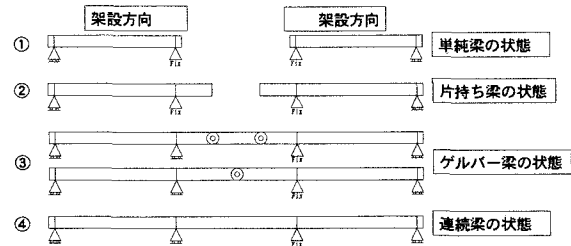
工事の進捗にしたがった構造系

変化する構造系の例

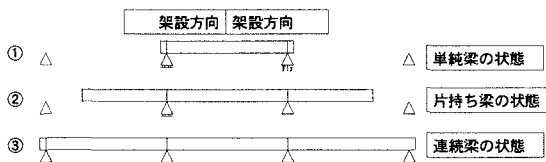
- 連続桁架設中の構造系
(連続桁、トラスの片持ち式工法)
- アーチ架設中の構造系
- 単純トラス片持ち式架設中の構造系
- 鋼床版箱桁架設中の構造系
- 連続桁のバランス片持ち式架設中の構造系

(a) 連続桁架設中の構造系 (連続桁、トラスの片持ち式工法)

中央径間張出し工法



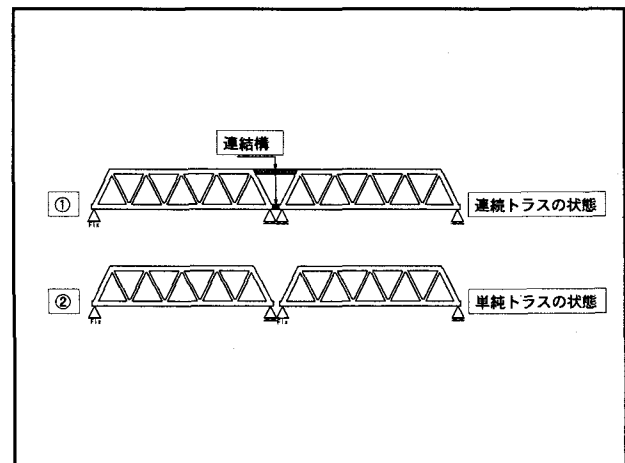
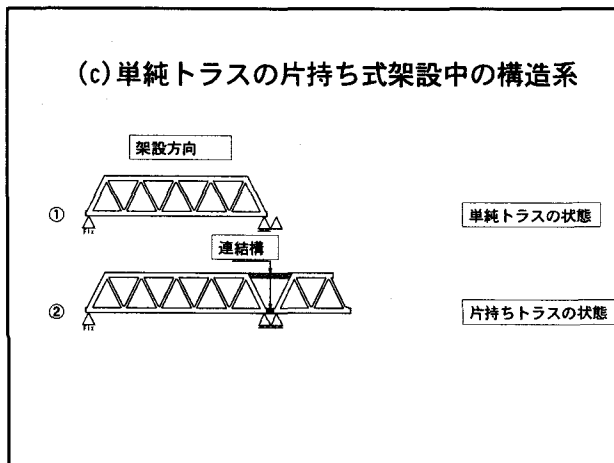
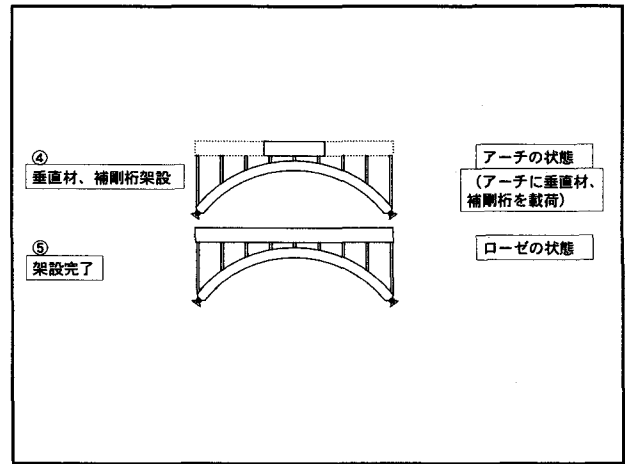
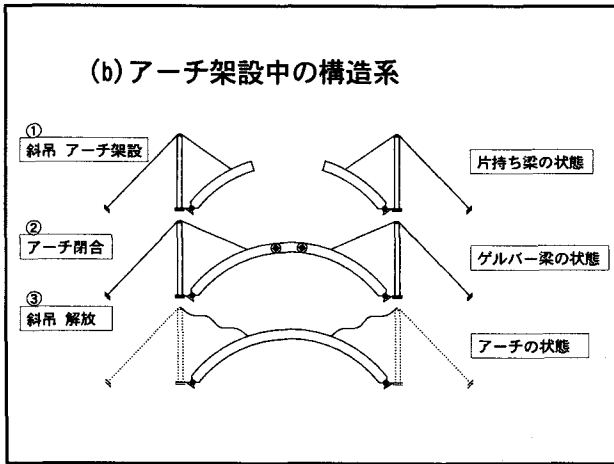
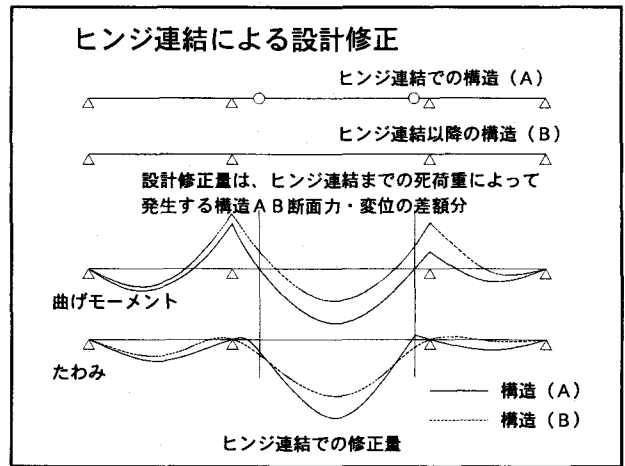
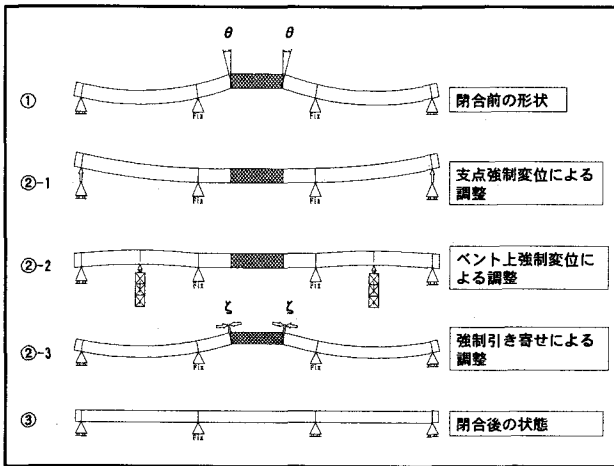
側径間張出し工法



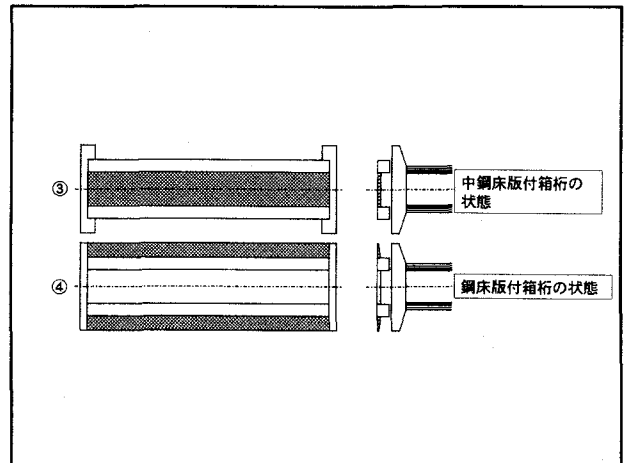
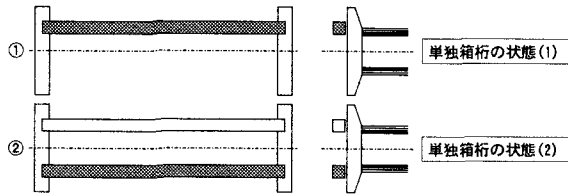
モーメント連結の調整方法

調整方法

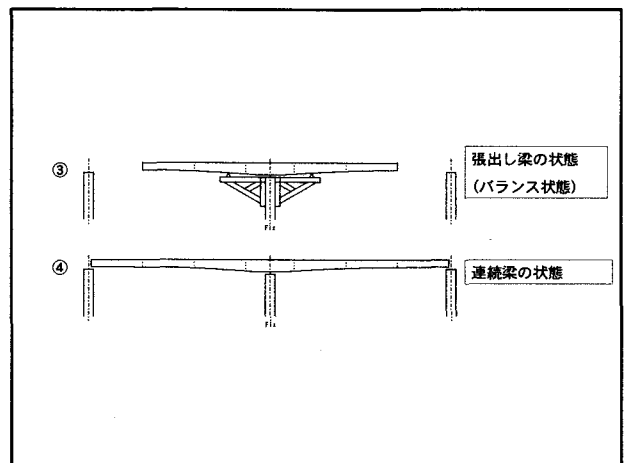
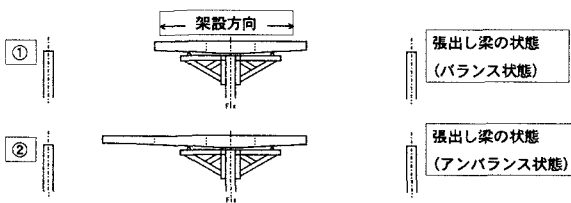
1. 支点変位で調整
2. ベントで変形を与える
3. 強制的に引き寄せる



(d) 鋼床版箱桁架設中の構造系



(e) 連続桁のバルシング片持式架設中の構造系



(2) 架設中の安定照査

(a) 横倒れ座屈照査

(I形断面桁、腹板間隔に対して桁高が大きい箱桁)

$$M_{max} \leq 1 / \nu \cdot M_{cr}$$

ここに、

M_{max} : 実荷重による最大作用曲げモーメント (kN・m)
 ($M_{max} = w L^2 / 8$)

M_{cr} : 横倒れ座屈モーメント (kN・m)

ν : 安全率 1.35

(b) 全体横倒れ座屈照査

(横構や対傾構が取付けられていない状態、床版コンクリート硬化前の合成桁)

$$q w \leq 1 / \nu \cdot q_{cr}$$

ここに、

M_{max} : 等分布作用荷重 (kN/m)

q_{cr} : 横倒れ座屈荷重 (kN/m)

ν : 安全率 1.35

(3) 架設中の照査項目

計画段階における検討事項

- (a) プレートガーダーの単体吊り上げ時の横座屈及び局部座屈
- (b) 架設時の応力が完成後の応力と逆符号となる場合の桁、部材等の耐力不足
- (c) 片持ち式架設
- (d) 送出し式架設（手延べ式工法）
- (e) 斜め吊り架設
- (f) 大ブロック工法
- (g) 合成桁の架設中並びに床版打設時の耐力検討
- (h) 曲線桁架設時のねじれ付加応力、横座屈及び安定性検討

工法・形式別の照査項目

| 架設工法 | 橋梁形式 | | | | | 備考 | | |
|-------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|--|--------------------------------|---------|
| | 1 げた | 箱 げた | トラス | ラーメン 1) | アーチ系 2) | | | |
| 多点支持工法 | ベント | ①② ③ ^{a)} ④ | ①② ③ ^{a)} | ①② ③ ^{b)} | ①② | ① ^{a)} ② ^{a)} ③ ^{a)} ④ ^{a)} | a) 下路式 b) 斜材、垂直材 c) 曲線げた | |
| | ケーブル直張り | ①② ③ | ①② | ①② ③ ^{b)} | | ① ^{a)} ② ^{a)} ③ ^{a)} | | |
| | 架設けた | ①② ③ | ①② | | | | | |
| 架設時の構体に荷重を負担させる工法 | 横取り | ②③④ ⑦⑧⑨ | ②③ ④⑤ | | | | 部材の組立までは 多点支持工法参照 | |
| | 降下 | ②③④ ⑦⑧⑨ | ②③ ④⑤ | | | | | |
| | 送出し | ②③④⑤ ⑦⑧⑨⑩ | ②③④⑤ ⑦⑧⑨ | | | | | |
| | ケーブル（斜め張り） | | | | ①② ③④ | ①② ③④ | | 上部アーチ系橋 |
| | 張出し | ①②③ ⑦⑧⑨⑩ | ①②③ ⑦⑧ | ①② ③④⑤ | | | | |
| 一括架設 | ①② ⑦⑧⑨ | ①② ⑦⑧ | ①② ③ | | ①② ③ ^{b)} ④ | 地組立までは ベント工法参照 | | |

1) ハーラーメン、V型ラーメン、剛脚一体ラーメン等
2) アーチ、ランガー、ローゼ、ニールセンローゼ等

照査項目

- ① つり金具及び取付け部の応力照査
- ② 仮支点部の応力照査
- ③ 転倒に対する安定照査
- ④ 継手部（仮締めボルト等）の安全照査
- ⑤ ローラー又は送出し装置上の局部応力に対する応力照査
- ⑥ 曲げ応力とせん断応力を受ける腹板の座屈に対する安全照査
- ⑦ 架設時の曲げモーメントに対する応力照査
- ⑧ 架設時のみ圧縮応力を受ける部材の応力照査
- ⑨ 軸力と曲げを同時に受ける部材の応力照査
- ⑩ 横倒れ座屈に対する安定照査
- ⑪ 全体横倒れ座屈に対する安定照査
- ⑫ 斜め張り時の横荷重に対する応力照査
- ⑬ 仮支点の相対高さ及支点反力の照査

架設中の照査事例

- (1) 吊金具
- (2) 仮支点部
- (3) 送り出し架設時の腹板
- (4) I形断面桁の仮置き、吊上げ
- (5) 架設中におけるみ圧縮力を受ける部材の照査
- (6) 全体・横桁間座屈の防止
- (7) 横取り架設時の転倒
- (8) 送り出し架設時の転倒

(a) 吊金具

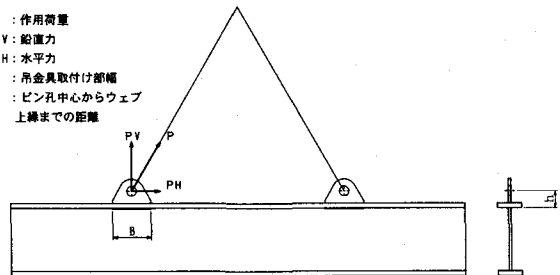
引張荷重に対して、吊金具と本体構造物との溶接部および本体構造物側の応力度、吊金具ピン孔の応力度の照査をしなければならない。

【応力度照査項目】

- a) 吊金具取付け部の照査
(曲げとせん断を受ける溶接部)
- b) 吊金具ピン孔の照査
(支圧、はし抜け、応力集中)
- c) 本体構造物側の照査

吊金具本体取付け部

P : 作用荷重
PV : 鉛直力
PH : 水平力
B : 吊金具取付け部幅
h : ピン孔中心からウェブ上縁までの距離



$$\sigma = \frac{PV}{\sum a \cdot B} \pm \frac{PH \cdot h}{I} \cdot \frac{B}{2} \quad \tau = \frac{PH}{\sum a \cdot B}$$

ここに、 σ : 曲げ縁応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)
 τb : 曲げによる溶接部のせん断応力度 (N/mm²)
 σa : 許容引張応力度 (N/mm²)
 τa : 許容せん断応力度 (N/mm²)
 B : 吊金具取付け部幅 (mm)
 a : のど厚 (mm)
 I : のど厚を接合面に展開した断面の
 その中立軸まわりの断面二次モーメント (mm²)

曲げモーメントとせん断力を同時に受ける溶接部においては、応力度の照査を次式により行う。

・全断面溶け込み溶接以外の場合

$$\left(\frac{\tau b}{\tau a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau a} \right)^2 \leq 1.0$$

・全断面溶け込み溶接の場合

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau a} \right)^2 \leq 1.2$$

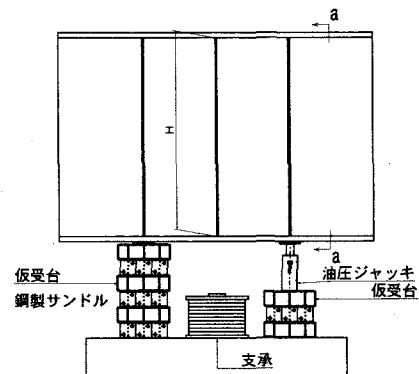
(b) 仮支点部

仮支点部は、本体構造物に座屈および局部変形が生じないように照査しなければならない。

【応力度照査項目】

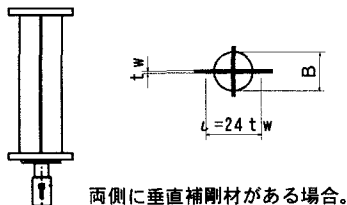
- a) 部材の仮支点断面の曲げおよびせん断応力度
- b) 圧縮力を受ける柱としての腹板の応力度
 - ・腹板の有効幅 $l \leq 2.4 t_w$
 - ・全有効断面積は補剛材断面積の1.7倍以下
 - ・有効座屈長は桁高Hの1/2
 - ・補剛材が腹板の片側にある場合、
圧縮力Rと偏心曲げモーメントR・eを考慮

仮支点部の垂直補剛材



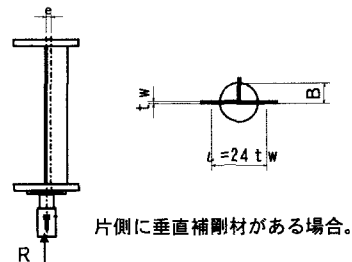
補剛材が腹板の両側にある場合

a - a 断面



補剛材が腹板の片側にある場合

a - a 断面

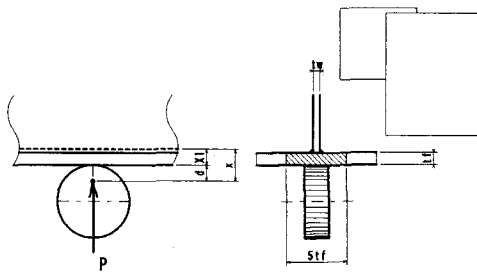
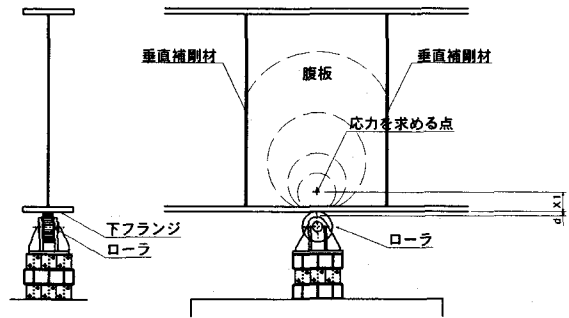


(c) 送り出し架設時の腹板

【応力度照査項目】

- ・ ローラー上の腹板の局部座屈応力
- ・ 送り出し装置上の腹板の鉛直反力、曲げモーメント、せん断力に対する応力

ローラー上の腹板



σ_{al} : ローラー上の腹板の制限応力度 (N/mm²)

| 鋼種 | SS400, SM400 | SM490 | SM490Y, SM520 | SM570 |
|---------------|--------------|-------|---------------|-------|
| σ_{al} | 180 | 240 | 270 | 345 |

$$\sigma_x = \frac{2P}{\pi t w x} \leq \sigma_{al}$$

ここに、 σ_x : ウェブの座屈応力度 (N/mm²)

P: ローラー支点の反力 (N)

t w: 腹板の板厚 (mm)

x: X1 + d (mm)

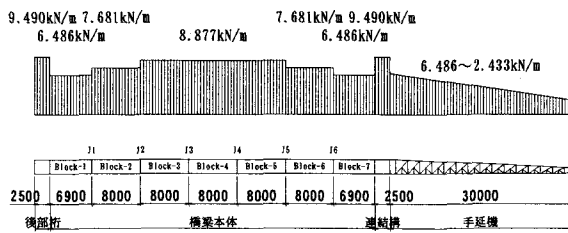
X1: 下フランジ厚 + 溶接ビートのサイズ (mm)

$$d: 1.65 \left(\frac{I_f}{t w / 2} \right)^{1/3}$$

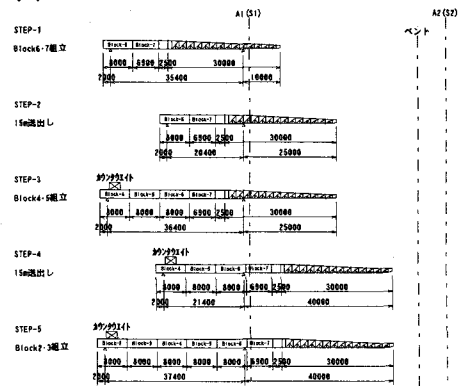
I_f: フランジの断面二次モーメント (mm⁴)

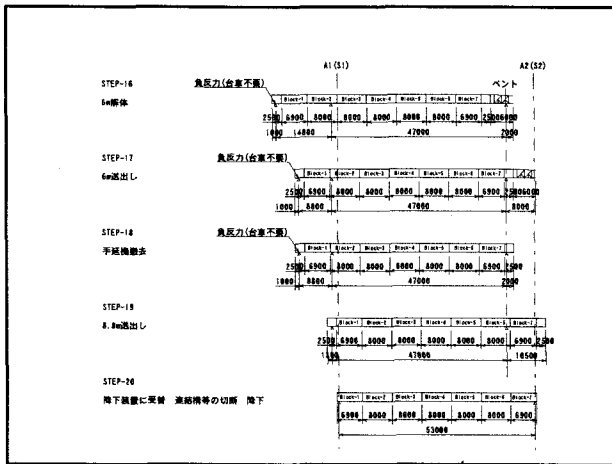
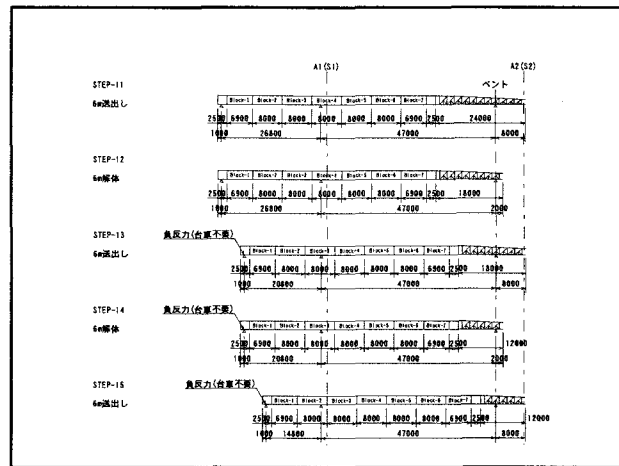
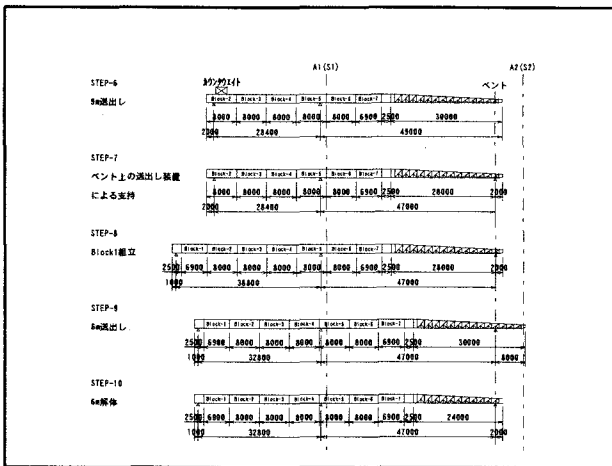
フランジの有効幅はフランジ厚の5倍とする。

送り出し架設検討例



送り出しステップ





送出し時の腹板座屈照査 (1)

ステップ解析

腹板座屈照査

補強必要 → 安全

水平補剛材の追加

補強必要 → 安全

腹板の増厚

ステップ解析

腹板座屈照査

補強必要 → 安全

水平補剛材の追加

補強必要 → 安全

腹板の増厚

腹板の座屈照査

No. 1 STEP - 6 欄目表 G1 - C6

断面力 最大曲げモーメント $M = -4457.520 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (-4457.520×1.0)
 最大せん断力 $S = 442.788 \text{ kN}$ (348.890×1.2)
 反力 $R = 817.878 \text{ kN}$ (685.690×1.2)

材質 : S490Y

断面構成 1 - Flg.Pl. 750 x 31
 1 - Web.Pl. 2300 x 12
 1 - Flg.Pl. 750 x 50

平面変形係数 $c = 300 \text{ (mm)}$

| 座屈照査項目 | 項目 | パネル① | パネル② |
|---------|-------------------------|--------|--------|
| パネル長さ | D | 1840.0 | 445.0 |
| パネル幅 | A | 1325.0 | 1325.0 |
| 下翼 | 軸方向曲げ応力度: σ_{D1} | -66.8 | 60.0 |
| 上翼 | 軸方向曲げ応力度: σ_{D2} | 66.0 | 61.7 |
| | オイラの板座屈応力度: σ_A | 7.7 | 121.0 |
| 側面げによる | 応力度: σ_B | -81.4 | -18.9 |
| 側面げによる | 座屈係数: η_D | 27.860 | 32.800 |
| 側面げによる | 座屈係数: η_B | 261.3 | 335.0 |
| 側面げによる | 応力度: σ_C | -1.4 | 75.9 |
| 側面げによる | 座屈係数: η_C | 4.447 | 4.700 |
| 側面げによる | 座屈係数: η_{CK} | 84.8 | 244.7 |
| せん断による | 応力度: τ | 16.0 | 16.0 |
| せん断による | 座屈係数: η_1 | 14.381 | 5.822 |
| せん断による | 座屈係数: η_K | 87.0 | 120.0 |
| 鉛直反力による | 応力度: σ_F | 328.8 | 45.7 |
| 鉛直反力による | 座屈係数: η_F | 27.818 | 4.773 |
| 鉛直反力による | 座屈係数: η_{FK} | 165.4 | 244.9 |
| 鉛直反力による | 必要板厚増設率: S_F | 0.58 | 2.70 |
| | 必要板厚増設率 | 1.35 | 1.35 |
| 結果 | 補強必要 | 安全 | 安全 |

送出し時の腹板座屈照査 (2)

ステップ解析

腹板座屈照査

補強必要 → 安全

水平補剛材の追加

補強必要 → 安全

腹板の増厚

ステップ解析

腹板座屈照査

補強必要 → 安全

水平補剛材の追加

補強必要 → 安全

腹板の増厚

水平補剛材の追加

No. 2 STEP - 6 荷目点 G1 - C6
 断面力 最大曲げモーメント M = -6457.550 kN・m (-6457.550 x 1.0)
 最大せん断力 S = 442.788 kN (368.990 x 1.2)
 応力 R = 922.928 kN (685.690 x 1.2)

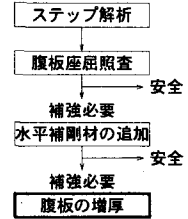
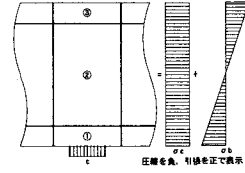
材質 : SM490Y

断面構成 1 - Fig.P1. 750 x 32
 1 - Web.P1. 2300 x 12
 1 - Fig.P1. 750 x 50

平間支保幅 c = 300 (mm)

| 原形要素 | 項目 | バネ力① | バネ力② | バネ力③ |
|---------|-------------------------|--------|--------|--------|
| | バネ力高さ : b | 460.0 | 1325.0 | 460.0 |
| | バネ力幅 : a | 1325.0 | 1325.0 | 1325.0 |
| 下脚 | 端方向曲げ応力 : σ_{D1} | -66.8 | -35.7 | 60.0 |
| 上脚 | 端方向曲げ応力 : σ_{D2} | -35.7 | 60.0 | 97.7 |
| | オイラーの板屈曲応力 : σ_e | 123.0 | 13.7 | 123.0 |
| 両曲げによる | 応力差 : σ_b | -15.9 | -47.6 | -16.8 |
| 両曲げによる | 増強断面応力差 : σ_{bk} | 23.900 | 23.900 | 23.900 |
| 両圧縮による | 応力差 : σ_c | -31.0 | 12.4 | 76.9 |
| 両圧縮による | 増強断面応力差 : σ_{ck} | 4.000 | 4.000 | 4.000 |
| 両圧縮による | 増強断面応力差 : σ_{ck} | 246.7 | 102.5 | 246.7 |
| せん断による | 応力差 : τ | 16.0 | 16.0 | 16.0 |
| せん断による | 増強断面応力差 : τ_k | 5.822 | 9.794 | 5.822 |
| せん断による | 増強断面応力差 : τ_k | 130.9 | 100.1 | 130.9 |
| 鉛直反力による | 応力差 : σ_y | 278.6 | 182.9 | 45.7 |
| 鉛直反力による | 増強断面応力差 : σ_{yk} | 2.302 | 14.464 | 4.773 |
| 鉛直反力による | 増強断面応力差 : σ_{yk} | 229.7 | 172.2 | 244.9 |
| 鉛直反力による | 増強断面応力差 : σ_{yk} | 208.0 | 216.8 | 308.2 |
| | 応力差 : S F | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| | 応力差 : S F | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| 判定 | 補強必要 | 補強必要 | 安全 | 安全 |

送出し時の腹板座屈照査 (3)



腹板の増厚(1)

No. 3 STEP - 6 荷目点 G1 - C6
 断面力 最大曲げモーメント M = -6457.550 kN・m (-6457.550 x 1.0)
 最大せん断力 S = 442.788 kN (368.990 x 1.2)
 応力 R = 922.928 kN (685.690 x 1.2)

材質 : SM490Y

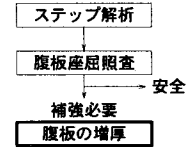
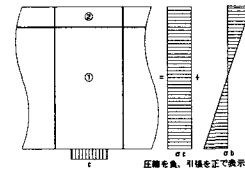
断面構成 1 - Fig.P1. 750 x 32
 1 - Web.P1. 2300 x 12
 1 - Fig.P1. 750 x 50

腹板を12mmから18mmに増厚

平間支保幅 c = 300 (mm)

| 原形要素 | 項目 | バネ力① | バネ力② | バネ力③ |
|---------|-------------------------|--------|--------|--------|
| | バネ力高さ : b | 460.0 | 1380.0 | 460.0 |
| | バネ力幅 : a | 1325.0 | 1325.0 | 1325.0 |
| 下脚 | 端方向曲げ応力 : σ_{D1} | -66.8 | -34.7 | 56.2 |
| 上脚 | 端方向曲げ応力 : σ_{D2} | -34.7 | 56.2 | 86.6 |
| | オイラーの板屈曲応力 : σ_e | 218.7 | 24.3 | 218.7 |
| 両曲げによる | 応力差 : σ_b | -15.2 | -45.5 | -15.1 |
| 両曲げによる | 増強断面応力差 : σ_{bk} | 23.900 | 23.900 | 23.900 |
| 両曲げによる | 増強断面応力差 : σ_{bk} | 335.0 | 335.0 | 335.0 |
| 両圧縮による | 応力差 : σ_c | -48.9 | 16.0 | 71.4 |
| 両圧縮による | 増強断面応力差 : σ_{ck} | 4.000 | 4.000 | 4.000 |
| 両圧縮による | 増強断面応力差 : σ_{ck} | 308.2 | 129.0 | 308.2 |
| せん断による | 応力差 : τ | 12.0 | 12.0 | 12.0 |
| せん断による | 増強断面応力差 : τ_k | 5.822 | 9.794 | 5.822 |
| せん断による | 増強断面応力差 : τ_k | 143.3 | 109.7 | 143.3 |
| 鉛直反力による | 応力差 : σ_y | 111.4 | 127.7 | 34.3 |
| 鉛直反力による | 増強断面応力差 : σ_{yk} | 3.308 | 14.464 | 4.773 |
| 鉛直反力による | 増強断面応力差 : σ_{yk} | 208.0 | 216.8 | 308.2 |
| | 応力差 : S F | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| | 応力差 : S F | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| 判定 | 安全 | 安全 | 安全 | 安全 |

送出し時の腹板座屈照査 (4)



腹板の増厚(2)

No. 4 STEP - 6 荷目点 G1 - C6
 断面力 最大曲げモーメント M = -6457.550 kN・m (-6457.550 x 1.0)
 最大せん断力 S = 442.788 kN (368.990 x 1.2)
 応力 R = 922.928 kN (685.690 x 1.2)

材質 : SM490Y

断面構成 1 - Fig.P1. 750 x 32
 1 - Web.P1. 2300 x 12
 1 - Fig.P1. 750 x 50

腹板を12mmから18mmに増厚

平間支保幅 c = 300 (mm)

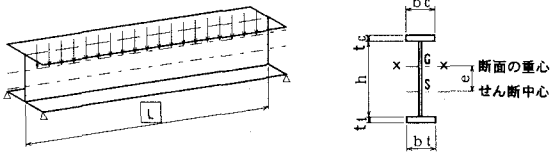
| 原形要素 | 項目 | バネ力① | バネ力② |
|---------|-------------------------|--------|--------|
| | バネ力高さ : b | 1440.0 | 460.0 |
| | バネ力幅 : a | 1325.0 | 1325.0 |
| 下脚 | 端方向曲げ応力 : σ_{D1} | -34.7 | 56.2 |
| 上脚 | 端方向曲げ応力 : σ_{D2} | 56.2 | 84.2 |
| | オイラーの板屈曲応力 : σ_e | 17.3 | 276.8 |
| 両曲げによる | 応力差 : σ_b | -52.9 | -14.9 |
| 両曲げによる | 増強断面応力差 : σ_{bk} | 23.900 | 23.900 |
| 両曲げによる | 増強断面応力差 : σ_{bk} | 306.1 | 335.0 |
| 両圧縮による | 応力差 : σ_c | -4.8 | 63.4 |
| 両圧縮による | 増強断面応力差 : σ_{ck} | 4.447 | 4.000 |
| 両圧縮による | 増強断面応力差 : σ_{ck} | 117.4 | 308.2 |
| せん断による | 応力差 : τ | 10.7 | 10.7 |
| せん断による | 増強断面応力差 : τ_k | 14.301 | 5.822 |
| せん断による | 増強断面応力差 : τ_k | 110.4 | 149.0 |
| 鉛直反力による | 応力差 : σ_y | 152.4 | 30.5 |
| 鉛直反力による | 増強断面応力差 : σ_{yk} | 23.910 | 4.773 |
| 鉛直反力による | 増強断面応力差 : σ_{yk} | 238.1 | 308.2 |
| | 応力差 : S F | 1.41 | 4.00 |
| | 応力差 : S F | 1.35 | 1.35 |
| 判定 | 安全 | 安全 | 安全 |

(d) I形断面桁の仮置き、吊上げ

【応力度照査項目】

- ・横倒れ座屈応力

I形断面部材が両端で単純支持された場合の
弾性理論による横倒れ座屈の限界モーメント



一軸対象なI形断面部材が両端で単純支持
された場合の弾性理論による横倒れ座屈の
限界モーメント M_{cr}

$$M_{cr} = \alpha \cdot \frac{\pi}{l} \cdot \left\{ \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot K + E^2 \cdot I_y \cdot C_w \cdot \frac{\pi^2}{l^2} + E^2 \cdot I_y^2 \cdot \frac{\pi^2}{l^2} \cdot j^2} + E \cdot I_y \cdot \frac{\pi}{l} \cdot j \right\}$$

$$j = e + \frac{1}{2I_x} \int_A Y(x^2 + y^2) dA \approx \frac{h(l_c - l_t)}{2I_x}$$

ここに、

α : 等分布荷重の換算係数 $\alpha = 1.13$

e : せん断中心と断面の重心距離

E : 弾性係数

G : せん断弾性係数

I_x : x軸まわりの断面二次モーメント

I_y : y軸まわりの断面二次モーメント $I_y = I_c + I_t$

I_c : 圧縮フランジ軸まわりの断面二次モーメント

$$I_c = t_c \cdot b_c^3 / 12$$

I_t : 引張フランジ軸まわりの断面二次モーメント

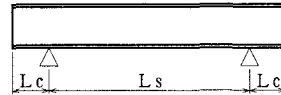
$$I_t = t_t \cdot b_t^3 / 12$$

K : 純ねじり定数 $K = 1/3 \sum b \cdot t^3$

C_w : 曲げねじり定数 $C_w = (I_c \cdot I_t) / (I_c + I_t) \cdot h^2$

L : 支間長

I形断面桁の仮置き状態（単純支持）の照査



中間部について
 $L_s / b_u \leq 70$

ここに、
 b_u : 上フランジ最小幅

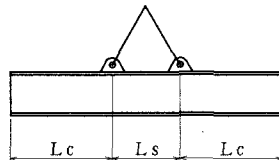
I形断面桁を吊上げる場合の照査(1)

片持部について

$$L_c / b_l \leq 35$$

ここに、

b_l : 下フランジ最小幅



$$L_c : L_s : L_c = 1 : 2 : 1$$

の時に横倒れ座屈に対して最も強い

I形断面桁を吊上げる場合の照査(2)

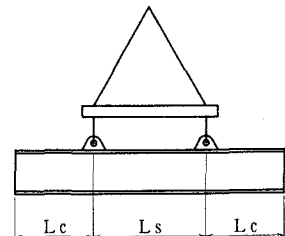
(特に細長い部材)

片持部について

$$L_c / b_l \leq 35$$

ここに、

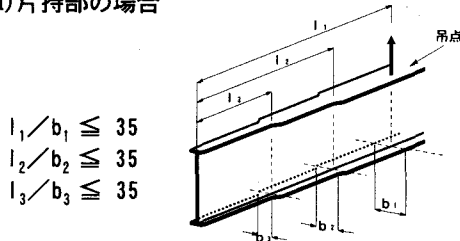
b_l : 下フランジ最小幅



吊天びんなどを用いて中央部分を広くして
吊るのがよい

フランジ幅が変化する場合の横倒れ座屈照査

(a) 片持部の場合

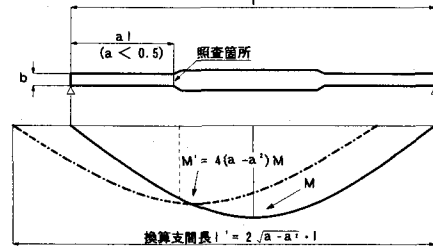


$$\begin{aligned} l_1/b_1 &\leq 35 \\ l_2/b_2 &\leq 35 \\ l_3/b_3 &\leq 35 \end{aligned}$$

ここに、 b_1, b_2, b_3 : 下フランジ幅

フランジ幅が変化する場合の横倒れ座屈照査

(b) 両端支持の場合



換算支間長による照査 $l' / b \leq 70$

(e) 架設中にのみ圧縮力を受ける部材の照査

架設中にのみ圧縮力を受ける部材は、架設の各段階における部材力を算出し、圧縮部材として設計しなければならない。

各基準・示方書の圧縮規定（章または節の番号の一覧表）

| 規定の内容 | 道路橋示方書 (鋼橋編 平成8年版) | DIN 18800 |
|------------------|-----------------------|-----------|
| 部材の細長比の制限 | 3.1.7 | 第2部 2.6 |
| 軸力と曲げモーメントを受ける部材 | 3.3 | 第1部 7.4.2 |
| 圧縮力を受ける部材の板厚 | 3.2 | 第3部 |
| 補剛された板 | 3.2.3 | 第3部 |
| 腹板厚と補剛材 | 3.2.4, 8.4, 8.5, 8.6 | 第3部 |
| 荷重集中点の補剛材 | 8.7 | 第3部 |
| 組合せ部材 | 3.5* | 第2部 4 |

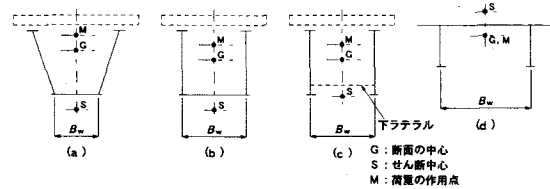
*印は最近の示方書には記述されていないので、昭和47年度版による。

土木学会 「鋼構造架設設計施工指針」 [2001年版]

(f) 全体・横桁間座屈の防止

圧縮応力を受ける部分が横方向に拘束されていない細長い構造物（開断面箱桁、2主桁構造など）では、全体としての横ねじれ座屈に注意しなければならない。

横桁間隔を広くしたI形断面桁では、横桁間での主桁の座屈に対しても注意が必要である。



土木学会 「鋼構造架設設計施工指針」 [2001年版]

(g) 横取り架設時の転倒

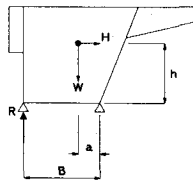
転倒安全率

- 直線桁の場合

$$SF = \frac{W \times a}{H \times h}$$

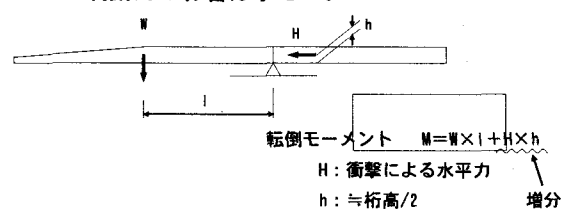
- 曲線桁の場合

$$SF = \frac{R \times B}{H \times h}$$



(h) 送り出し架設時の転倒

- 転倒安全率に送り出し勾配は無関係。
- 制動力の影響は小さい。



・送り出し架設の転倒安全率

$$SF = 1 + R \cdot \frac{L}{M}$$



転倒モーメント M

抵抗モーメント $M + R \cdot L$



送り出しの安定

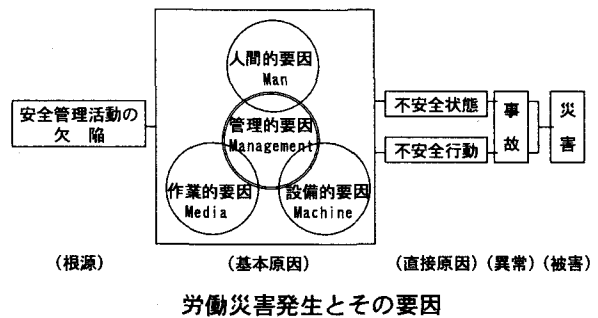
(4) 架設中の変形

計画段階における算定項目

- (1) 架設中の各段階のたわみ量
- (2) 温度による変形
- (3) キャンバーの変化による桁長の変化量
- (4) 架設用ケーブルの荷重による弾性変形
- (5) 非弾性変形

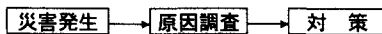
4. セーフティ・アセスメントとは

セーフティ・アセスメント（事前評価）とは



セーフティ・アセスメントの進め方(1)

(従来型)

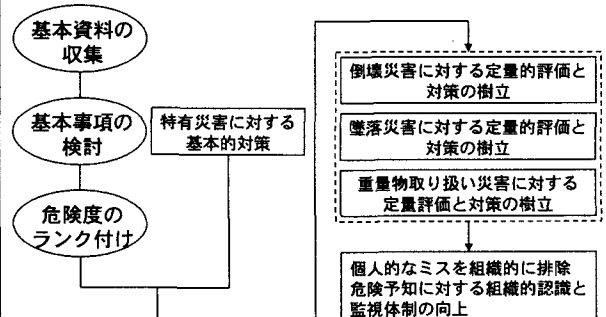


(セーフティ・アセスメント型)



セーフティ・アセスメントの基本概念

セーフティ・アセスメントの進め方(2)



基礎資料の収集

シートB (危険度のランク付け)

シートB (発注者から付与された条件に基づく危険度のランク付けとその対照樹立)

| 要素 | 条件 | 素点 |
|-------------------|--------------------------------------|----|
| 構造形式 | イ I型桁、箱桁構造以外のもの | 2 |
| | ロ I型桁、箱桁構造のもの | 0 |
| 最大支間長 | イ 100mを超えるもの | 2 |
| | ロ 50mを超えるもの | 1 |
| | ハ 50m以下のもの | 0 |
| 構造物の平面形状 | イ 曲率の大きい曲線桁 ($L/R \geq 3.5$ の場合) | 2 |
| | ロ 曲率のゆるやかな曲線桁 ($L/R < 3.5$ の場合) | 1 |
| | ハ 直線桁 | 0 |
| | イ 70mを超えるもの | 2 |
| 桁下高さ | ロ 10mを超えて30m以下のもの | 1 |
| | ハ 10m以下のもの | 0 |
| 架設工法 | イ ケーブルエレクション工法 | 4 |
| | ロ 片持ち工法、送出し工法、架設桁工法等 | 2 |
| | ハ ベント以外で橋脚を支持する工法 | 1 |
| | ニ ノーベント工法(一括工法) | 0 |
| 使用クレーン (本体自立用) | イ ケーブルエレクション | 1 |
| | ロ その他のクレーン | 0 |

| | | | |
|------------------------|----------------------------------|---|---------|
| 地形 | イ ベント等仮設物の基礎が、それぞれ同一水平面に設置できない現場 | 1 | |
| | ロ ベント等の仮設物の基礎が、それぞれ同一水平面に設置できる現場 | 0 | |
| 地盤条件 | イ 仮設構造物の基礎に杭基礎を使用する現場 | 2 | |
| | ロ 仮設構造物の基礎にコンクリート基礎を使用する現場 | 1 | |
| 架設時期及び架設地域 | ハ 仮設構造物の基礎に枕木、鉄板等を敷く現場 | 0 | |
| | イ 架設時期が6月から10月までの期間に含まれる場合 | 3 | |
| | ロ 架設時期が11月から翌年5月までの期間に含まれる場合 | | |
| | ハ 3ヵ月以下の場合 | | |
| 架設時期が中国、近畿、中部地区のとき | 2 | | |
| 架設時期が北陸、関東、東北、北海道地区のとき | 1 | | |
| 架設工法 | イ 6ヵ月を超える場合 | 2 | |
| | ロ 3ヵ月を超え5ヵ月以下の場合 | 1 | |
| | ハ 3ヵ月以下の場合 | 0 | |
| 合計 (危険性の評価) | | | 危険性のランク |

危険性のランク

| 危険性の評価 | 危険性のランク |
|---------|------------------|
| 15点以上 | ランクⅠ (危険性が非常に高い) |
| 10点~14点 | ランクⅡ (危険性が高い) |
| 5点~9点 | ランクⅢ (危険性がある) |
| 4点以下 | ランクⅣ (危険性が低い) |

技術的難易度判定基準による評価

以下の6項目について評点を付けて評価
(架設が難しい条件ほど評点が高い)

- ① 橋梁形式
例：単純桁橋：0、アーチ系橋梁：3、複合構造橋梁：4
- ①' 最大支間長
例：連続桁橋の場合、 $L < 80$ ：0、 $80 \leq L < 100$ ：1、 $100 \leq L$ ：2
- ② 平面形状
例：曲線橋の場合、 $500 \leq R$ ：0、 $250 \leq R < 500$ ：1、 $R < 250$ ：2
- ③ 桁高変化
例： $(最大-最小) \leq 1m$ ：0、 $1m < (最大-最小) \leq 3m$ ：1、 $3m < (最大-最小)$ ：2
- ④ 架設工法
例：ベント工法(ベント高30m未満)：0、直吊、斜吊工法：3
- ⑤ 現場環境
例：鉄道・主要道路上横断架設：2、上空に高压線等の障害物がある：1

技術的難易度は、各項目の評点の合計で表す。

$$\text{技術的評価点} = \text{①} + \text{①}' + \text{②} + \text{③} + \text{④} + \text{⑤}$$

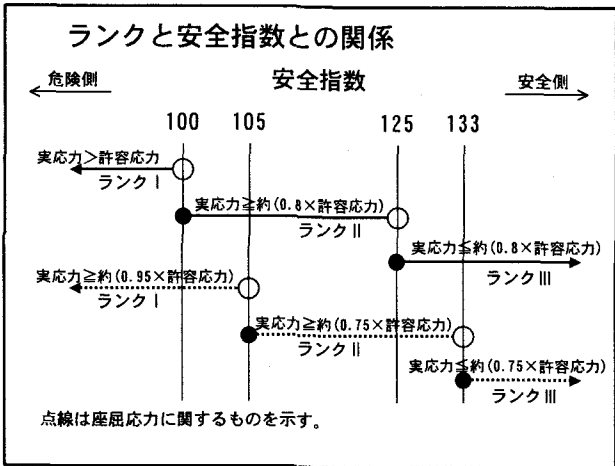
技術的難易度の評価

- ・普通：技術的評価点 4以下
- ・高い：技術的評価点 5以上

安全指数

各項目の計算値と許容値の比率(安全指数)により余裕の程度を求め、これにより構造物の倒壊に対する定量的な危険度のランク付けを行う。

- ・応力に対して
安全指数 = 許容応力 / 実応力 $\times 100$
- ・安全率に対して
安全指数 = 実安全力 / 所要安全率 $\times 100$
- ・安定に対して
安全指数 = 実安全力 / 所要安定率 $\times 100$



特有災害についての評価及び安全対策

シートF (災害に関する架設計算評価表) 別表2のチェック

シートF (災害に関する架設計算評価表) 別表2のチェック
 F=本架設計算書 U=架設用機材検査書 U=その他検査書
 P=架設用機材検査書 U=架設用機材検査書 U=その他検査書

| 区分 | 小項目 | 調査する項目 | | | | | 評価等 | | | | 備考 | |
|--------|---------------------------------|--------|---|---|---|---|-------|-------|-----|-----|----|---------------------|
| | | F | U | U | U | U | 評価 | 評価 | 評価 | 評価 | | |
| 本架設計算書 | 3 架設用機材に係るもの | | | | | | | | | | | |
| | (1) 架設用機材の取付位置について検討すること | | | | | | | | | | | 該当しない |
| その他 | (2) 取付位置、取付位置及び取付位置の能力を評価すること | | | | | | | | | | | 取付位置は構造上の問題で使用しなかった |
| | (3) 取付位置、取付位置及び取付位置の能力を評価すること | | | | | | | | | | | * |
| 本架設計算書 | (4) 取付位置の調査は、取付位置を確認すること | | | | | | | | | | | 該当しない |
| | (5) 取付位置は架設時の基礎状態について検討すること | | | | | | 1,268 | 1,261 | 246 | III | | (4) (1) 参照 |
| 本架設計算書 | (6) 取付位置の調査は、取付位置を確認すること | | | | | | 598 | 654 | 109 | II | | (2) (1) 参照 |
| | (7) 取付位置の調査は、取付位置を確認すること | | | | | | | | | | | (2) (1) 参照 |
| 本架設計算書 | 2.5 選出して法 | | | | | | | | | | | △台座脚一外れる |
| | (1) 架設中の各構部における架設時の応力、変形を評価すること | | | | | | 598 | 654 | 109 | II | | (2) (1) 参照 |
| 本架設計算書 | (2) 架設中の各構部における架設時の応力、変形を評価すること | | | | | | 110.8 | 172.4 | 107 | II | | △台座脚一外れる |
| | (3) 架設時の架設位置は、架設位置を確認すること | | | | | | | | | | | △台座脚一外れる |
| 本架設計算書 | (4) 架設時の架設位置は、架設位置を確認すること | | | | | | | | | | | △台座脚一外れる |
| | (5) 架設時の架設位置は、架設位置を確認すること | | | | | | | | | | | (2) 参照 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|--|--|--|--|-------|--------|-----|-----|--|--|--------------------------------|
| 予取機 | 3 架設用機材に係るもの | | | | | | | | | | | |
| | 2.5 予取機、架設機 | | | | | | | | | | | |
| 架設機 | (1) 架設中の各構部における予取機、架設機の応力及び変形を評価すること | | | | | 244 | 2825 | 311 | III | | | 7参照 |
| | (2) 架設中の各構部における支保点 (ローラー又は固定し架設) 応力による架設機の応力を評価すること | | | | | | | | | | | CASE-1のみで示したので架設位置の発生しないので評価した |
| 架設機 | (3) 架設時の架設位置は、架設位置を確認すること | | | | | 10.7 | 20 | 187 | III | | | 7参照 |
| | (4) 架設時の架設位置は、架設位置を確認すること | | | | | | | | | | | |
| 架設機 | 3.5 台車 | | | | | 150.8 | 200 | 124 | II | | | 9参照 |
| | (1) 十分な耐力を有すること | | | | | | | | | | | |
| 架設機 | (2) 架設の台車で荷重分散に突起等を使用するときは架設及び耐力を評価すること | | | | | | | | | | | 該当し(2) |
| | (3) ウイング等による耐力、耐力力は十分な耐力を有すること (直線及び非直線式) | | | | | 7.55 | 25.876 | 356 | III | | | 台座脚の荷重は構部と (2) (1) 参照 |