東海第二発電所　工事計画審査資料	
資料番号	工認-680 R1
提出年月日	平成30年8月27日

Ⅴ-5-51　計算機プログラム（解析コード）の概要
・ＡＰＯＬＬＯ　ＳｕｐｅｒＤｅｓｉｇｎｅｒ　Ｓｐｌｉｃｅ

目次

1. はじめに……1
1.1 使用状況一覧……2
2. 解析コードの概要……3
3. APOLLO SuperDesigner Spliceの解析手法について……4
3.1 一般事項……4
3.2 解析コードの特徴……4
3.3 解析手法……5
3.4 解析フローチャート……8
3.5 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)……9

1. はじめに

本資料は，添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）APOLLO SuperDesigner Spliceについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅴ-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	Ver. 10.11.0.3
Ⅴ-3-別添3-1-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書	Ver. 10.11.0.3

2.　解析コードの概要

項目＼コード名	APOLLO SuperDesigner Splice
使用目的	鋼部材連結部のボルト設計・添接板応力照査
開発機関	株式会社横河技術情報
開発時期	1996年
使用したバージョン	Ver. 10.11.0.3
コードの概要	本プログラムは，道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（(社)日本道路協会，平成24年3月）「高力ボルト継手」に準拠した鋼構造連結部の摩擦接合による継手計算を行うものである。
検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は以下の通りである。 ・APOLLO SuperDesigner Splice を用いて算出した継手部における必要ボルト本数及び必要添接板厚が，道路橋示方書の規定により算出した必要ボルト本数及び必要添接板厚と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性検証（Validation）】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。 ・検証の内容の通り，添接計算結果について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

3.　APOLLO SuperDesigner Spliceの解析手法について

3.1　一般事項

APOLLO SuperDesigner Spliceは，道路橋示方書Ⅱ鋼橋編の「高力ボルト継手」に準拠した鋼構造連結部の継手計算を行うプログラムである。

3.2　解析コードの特徴

APOLLO SuperDesigner Spliceの主な特徴を以下に示す。

・本プログラムの添接計算は，断面単位（鈑桁，箱桁など）ではなく，板単位（フランジ，腹板など）で行うため，ある程度任意の断面形状に対応している。（例外として，桁構造を想定したプログラムのため，トラス固有の添接計算方法などには対応していない）

・ボルト自動配置の方法は以下の方法に対応している。

①建設省方式　②道路公団大阪建設局方式　③YTI方式

それぞれの方法についてフランジ添接板を母材より5㎜小さくして自動配置する事が出来る。

・フランジ方式の計算方法は以下の方法に対応している。

①便覧方式（孔引き後の断面積で照査する方式）

②橋建方式（孔引き前の断面積で照査する方式）

・腹板の計算方法は以下の方法に対応している。

①通常方式（曲げモーメントとせん断力で計算する方法）

②簡易方式（せん断力のみで計算する方法）

・箱桁の縦リブの孔引き照査方法は以下の方法に対応している。

①縦リブ断面を母材に含めて照査する方法（縦リブの母材アップはしない考え方）

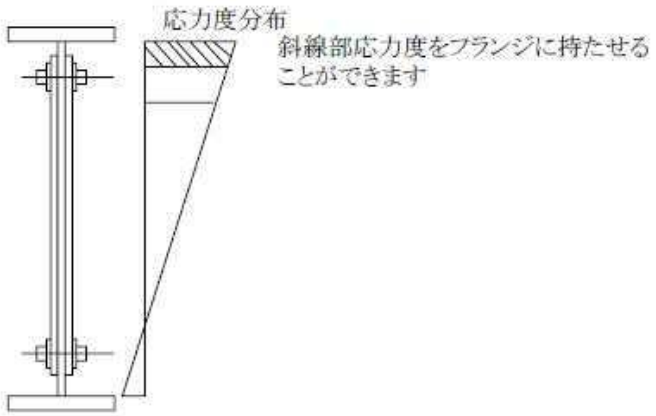
②縦リブ単独で計算する方法

・フランジ添接板の必要断面積の考え方は以下の方法に対応している。

①全添接板（両側）で必要断面積を満足する方法

②片側添接板で必要断面積の１／２を満足する方法

・腹板の添接計算を行う場合、一番端部のボルト作用力の一部をフランジに持たせた計算方法に対応している。



3.3　解析手法

摩擦接合は，高力ボルトで母材及び連結板を締付け，それらの間の摩擦力によって応力を伝達させるものである。高力ボルトに摩擦接合を採用する場合には，摩擦面のすべり及び母材又は連結板の降伏に対して安全となるように設計しなければならない。設計手法は道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 7.3高力ボルト継手 に則る。

3.3.1　ボルトの許容力（道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 7.3.4）

摩擦接合のボルトの許容力は道路橋示方書Ⅱ鋼橋編　3.2.3 溶接部及び接合用鋼材の許容応力度の規定による。

表3－1

摩擦接合用高力ボルトの許容力（1ボルト1摩擦面あたり）

(b)接触面に無機ジンクリッチペイントを塗布する場合

(kN)

ボルトの等級 / ねじの呼び	F8T	F10T	S10T
M20	35	44	44
M22	44	54	54
M24	51	63	63

3.3.2　摩擦接合用高力ボルトの設計（道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 7.3.5）

摩擦接合におけるボルトは，母材に作用する軸方向力，せん断力及び曲げモーメントに対して安全となるように設計しなければならない。全強の75%の強度を持たせる場合は，これに相当する応力に対して安全となるように設計する。

垂直応力が作用する板を連結する場合には，各列のボルトが式（3.3.2-1）を満たすように設計する。ただし，垂直応力が均等に分布している場合は，式（3.3.2-2）を満たせばよい。

$$\rho_{pi} = \frac{P_i}{n_i} \leqq \rho_a \qquad (3.3.2\text{-}1)$$

$$\rho_p = \frac{P}{n} \leqq \rho_a \qquad (3.3.2\text{-}2)$$

ここに，ρ_{Pi} ：i 列目のボルト１本に作用する力（N）

ρ_P ：ボルト１本に作用する力（N）

P_i ：i 列目の接合線の片側にあるボルト群に作用する力（N）

P ：接合線の片側にある全ボルトに作用する力（N）

n_i ：i 列目の接合線の片側にあるボルト群のボルト本数（本）

n ：接合線の片側にある全ボルトの全本数（本）

ρ_a ：ボルト１本あたりの許容力（N）

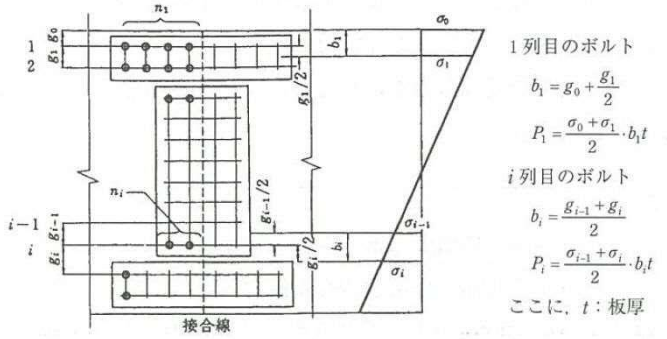


図3－1 ボルトに作用する力（垂直応力の分布が均等でない場合）

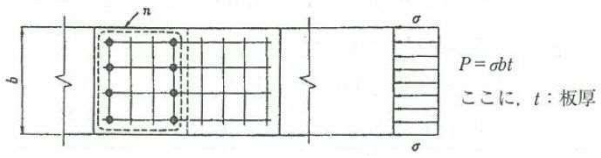


図3－2 ボルトに作用する力（垂直応力の分布が均等な場合）

せん断力が作用する板を連結する場合は，式（3.3.2-3）を満たすように設計する。

$$\rho_s = \frac{S}{n} \leqq \rho_a \qquad (3.3.2\text{-}3)$$

ここに，ρ_s ：ボルト１本に作用する力（N）
S ：せん断力（N）
n ：接合線の片側にあるボルトの全本数（本）
ρ_a ：ボルト１本あたりの許容力（N）

3.3.3 連結板の設計（道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 7.3.8）

連結板は作用力に対して安全であると同時に，部材全体として必要な継手強度が得られるように設計しなければならない。

引張力が作用する板の連結板は,3.3.4に規定する純断面に生じる応力度が許容引張応力度以下となるように設計する。圧縮力が作用する板の連結板は，総断面に生じる応力度が道路橋示方書Ⅱ鋼橋編3.2.1 構造用鋼材の許容応力度に規定する許容圧縮応力度の上限値以下となるように設計する。

曲げモーメントが作用する板の連結板は，式（3.3.3-1）を満たすように設計する。

$$\sigma = \frac{M}{I} y \leqq \sigma_a \qquad (3.3.3\text{-}1)$$

ここに，σ ：連結板の縁端に生じる応力度（N/㎜^{2}）
M：連結板に作用する曲げモーメント（N・㎜）

Ｉ　：中立軸に関する連結板の総断面の断面二次モーメント（㎜^{4}）

ｙ　：中立軸から連結板の縁端までの距離（㎜）

σ_a：道路橋示方書Ⅱ鋼橋編3.2.1に規定する許容応力度の上限値（N/㎟）

3.3.4　純断面積の計算（道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 7.3.9）

高力ボルトの継手部の設計にあたっては,継手部の断面積を適切に考慮しなければならない。引張材の純断面積は次の各項により計算する。

1）純断面積は純幅と板厚との積とする。この場合，材片の純幅はその総幅からボルト孔により失われる幅を除いたものとする。

2）摩擦接合では，母材及び連結板の純断面応力度を照査する場合に用いる純断面積は1）の規定により計算される値の1.1倍まで割増してよい。ただし，総断面積を超えてはならない。

3）部材の純断面積を算定する場合のボルト孔の径は，ボルトの呼びに3㎜を加えたものとする。

4）千鳥にボルト締めされた材片の純幅は，純幅から考えている断面の最初のボルト孔についてその全幅を控除し，以下順次に式（3.3.4-1）のwを各ボルト孔について控除したものとする。

$$w = d - \frac{p^2}{4g}\,(\text{㎜}) \qquad (3.3.4\text{-}1)$$

ここに，　d　：ボルト孔の直径（ボルトの呼び＋3㎜）

p　：ボルトのピッチ（㎜）

g　：応力直角方向のボルト線間距離（㎜）

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図 3－3 に示す。

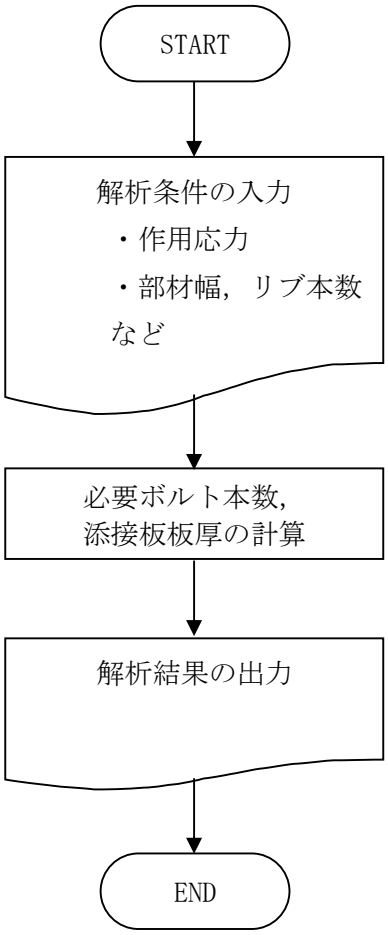


図3－3　解析フローチャート

3.5　検証（Verification）と妥当性確認（Validation）

a.　道路橋示方書の規定により算出した計算結果との比較による検証

以下に示す2通りの条件において添接計算を実施した結果の比較を行う。

・フランジ方式

1）計算条件

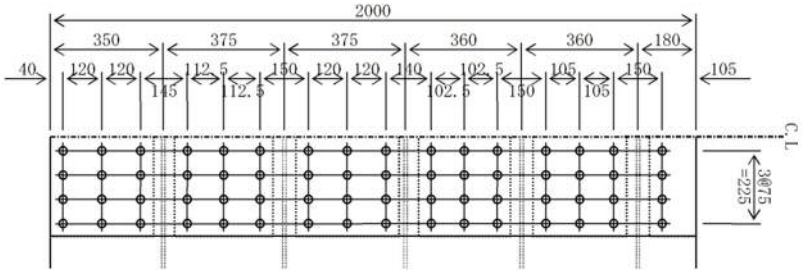
作用応力度　$\sigma_{tmax} = 36\ N/mm^2$, $\sigma_{cmax} = -36\ N/mm^2$

母材断面　1-Flg PL 2000 × 20 (SM490Y)

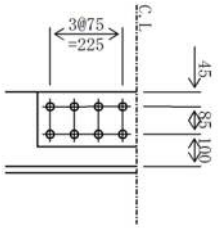
4-Rib PL　230 × 22 (SM490Y)

ボルト配置

フランジ



リブ



2）設計応力

$0.75 \times 210 = 157.5\ N/mm^2 > 36\ N/mm^2$

作用応力度より全強の75%の方が大きいため，設計応力は全強の75%とする。

3）母材断面積

総断面積　フランジ　$2000 \times 20 = 40000\ mm^2$

リブ　$4 \times 230 \times 22 = 20240\ mm^2$

合計　$40000 + 20240 = 60240\ mm^2$

純断面積

フランジ　$35200\ mm^2$

$(40000 - (163 \times 25) \times 20) \times 1.1 = 35200\ mm^2 < 40000\ mm^2$

リブ　$17420\ mm^2$

$(20240 - 4 \times (2 \times 25) \times 22) \times 1.1 = 17424\ mm^2 < 20240\ mm^2$

合計　$35200 + 17424 = 52624\ mm^2$

4) 設計軸力

引張力 Pt = 157.5 N/mm^2 × 35200 mm^2 ／ 1.1 = 5040000 N

Ptr = 157.5 N/mm^2 × 17424 mm^2 ／ 1.1 = 2494800 N

圧縮力 Pc = 157.5 N/mm^2 × 40000 mm^2 = 6300000 N

Pcr = 157.5 N/mm^2 × 20240 mm^2 = 3187800 N

5) 必要ボルト本数

フランジ 6300000 N ／ 108000 N = 58.3 本 < 64本使用 OK

リブ 3187800 N ／ 108000 N = 29.5 本 < 32本使用 OK

6) 添接板必要断面積

総断面積 フランジ 5040000／210／2 = 12000 mm^2

リブ 2494800／210 = 11880 mm^2

純断面積 フランジ 6300000／210／2 = 15000 mm^2

リブ 3187800／210 = 15180 mm^2

7) 添接板厚と添接板照査

添接板厚

フランジ 親板 10mm, 子板 16mm リブ 19mm

添接板照査

フランジ親板

総断面積 2000 × 10 = 20000 mm^2 = 20000 mm^2 >12000 mm^2 OK

純断面積 (20000 − (1×25) × 10) × 1.1 = 17600mm^2 < 20000 mm^2

= 17600 mm^2 >15000 mm^2 OK

フランジ子板

総断面積

145 × 16 + 290 × 16 + 285 × 16 + 2 × 320 × 16 + 305 × 16

= 26640 mm^2 > 12000 mm^2 OK

純断面積

1.1 × (145 × 16 − (1×25) × 16) = 2112 mm^2 < 2320 mm^2

1.1 × (290 × 16 − (3×25) × 16) = 3784 mm^2 < 4640 mm^2

1.1 × (285 × 16 − (3×25) × 16) = 3696 mm^2 < 4560 mm^2

1.1 × (2×320 × 16 − 2×(3×25) × 16) = 8624 mm^2 < 10240 mm^2

1.1 × (305 × 16 − (3×25) × 16) = 4048 mm^2 < 4880 mm^2

2112 + 3784 + 3696 + 8624 + 4048 = 22264 mm^2 > 15180 mm^2 OK

リブ

総断面積 8 × 165 × 19 = 25080 mm^2 > 11880 mm^2 OK

純断面積 (25080 − 8×(2×25) × 19) × 1.1 = 19448mm^2 < 25080 mm^2

= 19448mm^2> 15180 mm^2 OK

・ウェブ方式の計算条件

1）計算条件

作用応力度　σ_{tmax} ＝ 47 N/mm^2, σ_{cmax} ＝ −47 N/mm^2, τ ＝ 24 N/mm^2

母材断面　　1-Web PL 4500 × 12 (SM490Y)

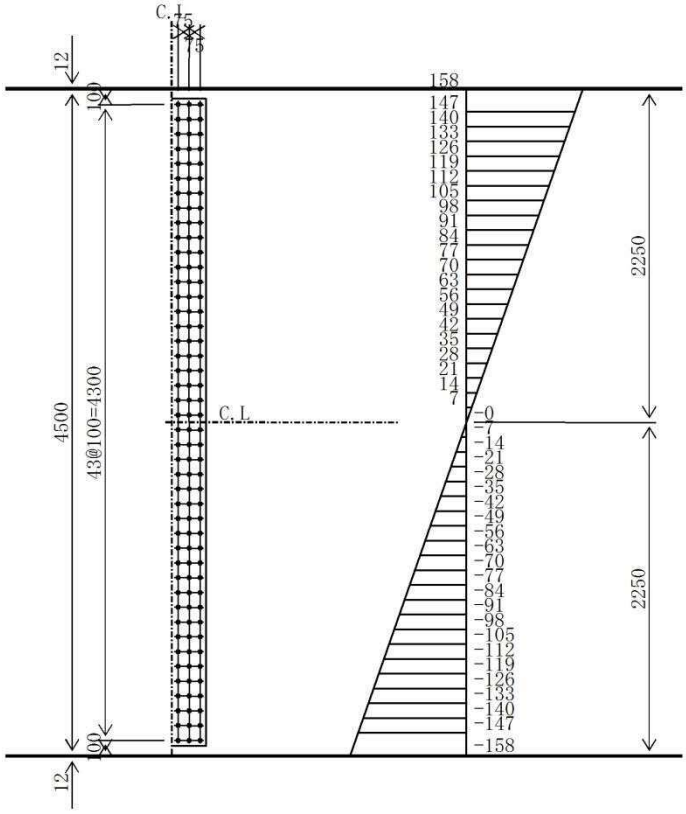
添接板断面　2-SPL PL 4380 × 9 (SM490Y)

2）設計応力及びボルト配置

0.75 × 210 ＝ 157.5 N/mm^2 ＞ 47 N/mm^2

作用応力度より全強の75%の方が大きいため，設計応力は全強の75%とする。

ボルト配置



3）必要ボルト本数

再下段のボルトで必要ボルト本数を計算する。

分担幅　　b ＝ 150 mm

設計応力度　　σ_L ＝ 158 N/mm^2, σ_{L-1} ＝ 147 N/mm^2

分担力　　P_L ＝ 150 × 12 × (157.5 + 147) ／ 2 = 274050 N

必要ボルト本数　N ＝ 274050 ／ 108000 ＝ 2.5 本＜ 3本使用　OK

4）せん断力の照査

総ボルト本数　　ΣN ＝ 44×3 ＝　132 本

ボルト1本あたりのせん断力

$$\rho s = 24 \times 4500 \times 12 \diagup 132 = 9818\ N < \rho a = 108000\ N\ \underline{OK}$$

5) 合成応力の照査

$$\rho \kappa = \sqrt{((274050 \diagup 3)^2 + 9818^2)} = 91876\ N < \rho a = 108000\ N\ \underline{OK}$$

6) 添接板の照査

ウェブの断面二次モーメント

$$Iw = 1/12 \times 12 \times 4500^3 = 9.1125 \times 10^{10}\ mm^4$$

ウェブの曲げモーメント

$$Mw = \sigma \times Iw \diagup y = 157.5 \times 9.1125 \times 10^{10} / (4500/2) = 6.37875 \times 10^9\ Nmm$$

添接板の断面二次モーメント

$$Is = 1/12 \times 9 \times 4380^3 \times 2 = 1.26042 \times 10^{11}\ mm^4$$

添接板の曲げ応力度

$$\sigma s = 6.37875 \times 10^9 \diagup 1.26042 \times 10^{11} \times (4380 \diagup 2) = 111\ N/mm^2$$

$$< \sigma a = 210\ N/mm^2\ \underline{OK}$$

フランジ方式，ウェブ方式共に，以下に添付するAPOLLO SuperDesigner Spliceの出力結果と一致することを確認しており，添接計算が正しく実行できていることが確認できる。

フランジ方式 APOLLO SuperDesigner Splice 出力結果

(a) 作用応力度

$\sigma tmax = 36\ N/mm^2$　　$0.75\sigma ta = 0.75 \times 210 = 158\ N/mm^2$

$\sigma cmax = -36\ N/mm^2$　　$0.75\sigma ca = 0.75 \times 210 = 158\ N/mm^2$

$\therefore \sigma c = 158\ N/mm^2$

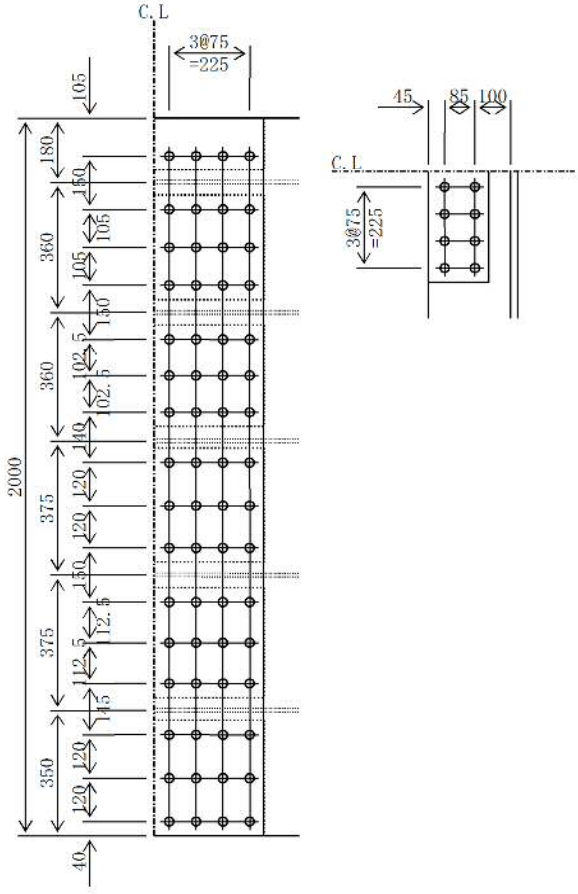
(b) 母材総断面

1-FLG　　PL　2000×20　　Ag ＝ 400.0 cm^2　　(SM490Y)

4-RIB　　PL　230×22　　Agr ＝ 202.4 cm^2　　(SM490Y)

$\Sigma Ag = Ag + Agr = 400.0 + 202.4 = 602.4\ cm^2$

(c) ボルト配置図



(d) 母材断面の照査

1-FLG　　PL　2000×20　　A ＝ 400.0

(400 − (16×2.5) ×2.0) ×1.1 ＝ 352.0 ＜ 400.0　∴ An ＝ 352.0 cm^2

4-RIB　　PL　230×22　　Ar ＝ 202.4

(202.4 − 4× (2×2.5) ×2.2) ×1.1 ＝ 174.2 ＜ 202.4　∴ Anr ＝ 174.2 cm^2

$\Sigma An = An + Anr = 352.0 + 174.2 = 526.2\ cm^2$

$\Sigma tn = \sigma tmax \times \Sigma Ag \ / \ \Sigma An = 36 \times 602.4 / 526.2 = 41\ N/mm^2$

$< \sigma a = 210\ N/mm^2$ OK

(e) 設計軸力

・母材 Pt ＝ 0.75σta×An／1.1 ＝ 158×35200／1.1＝5040000 N

＞σta×An ＝ 41×35200 ＝ 1450595 N

Pc ＝ σc×Ag ＝ 158×40000 ＝ 6300000 N

・リブ Ptr ＝ 0.75σta×Anr／1.1 ＝ 158×17424／1.1 ＝ 2494800 N

＞σtn×Anr ＝ 41×17424 ＝ 718045 N

Pcr ＝ σc×Agr ＝ 158×20240 ＝ 3187800 N

(f) 添接板必要断面積

・母材(片側) AnR = Pt / σa / 2 = 5040000 / 210 / 2 = 12000 mm^2 = 120.0 cm^2

AgR = Pc / σa / 2 = 6300000 / 210 / 2 = 15000 mm^2 = 150.0 cm^2

・リブ AnrR = Ptr / σa = 2494800 / 210 = 11880 mm^2 = 118.8 cm^2

AgrR = Pcr / σa = 3187800 / 210 = 15180 mm^2 = 151.8 cm^2

(g) 必要ボルト本数

・母材 n ＝ Pc／（108000×1.00）＝6300000／108000＝ 58.3本（64本使用）

・リブ nr ＝ Pcr／（108000×1.00）＝3187800／108000＝ 29.5本（4@8＝32本使用）

（高力ボルト S10T M22 2面許容摩擦力ρa＝108000 N 無機ジンク Nmax＝4.4本）

(h) 添接板の照査

	(SM490Y) Ags(cm^2) 孔引き		Ans(cm^2)
1-SPL PL 2000×10	(200.0 － (16×2.5) × 1.0) ×1.1＝176.0	＜ 200.0	∴21.1
	＝AgR		＝AnR
1-SPL PL 145×16	(23.2 － (1×2.5) × 1.6) ×1.1＝21.1	＜ 23.2	∴21.1
1-SPL PL 290×16	(46.4 － (3×2.5) × 1.6) ×1.1＝37.8	＜ 46.4	∴37.8
1-SPL PL 285×16	(45.6 － (3×2.5) × 1.6) ×1.1＝37.0	＜ 45.6	∴37.0
2-SPL PL 320×16	(102.4 －2×(3×2.5) ×1.6) ×1.1＝86.2	＜102.4	∴86.2
1-SPL PL 305×16	(48.8 － (3×2.5) × 1.6) ×1.1＝40.5	＜ 48.8	∴40.5
	266.4		222.6
	＞AgrR		＞AnrR
8-SPL PL 165×19	(250.8 － 8× (2×2.5) × 1.9) ×1.1＝192.3	＜250.8	∴192.3
	＞AgrR		＞AnrR

ウェブ方式 APOLLO SuperDesigner Splice 出力結果

(a) 作用応力度

1-WEB　　PL　4500×12　　A　＝　540.0 cm^2　　(SM490Y)

(b) 設計応力度

σU ＝　47 N/mm^2 ＜　σa × 0.75 ＝ 210 × 0.75 ＝ 158 N/mm^2

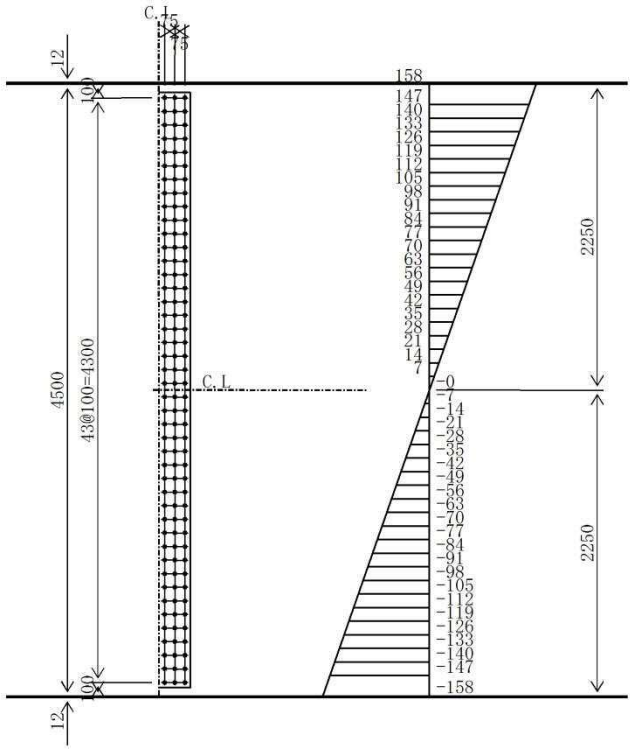
σL ＝　−47 N/mm^2 ＜　σa × 0.75 ＝ 210 × 0.75 ＝ 158 N/mm^2

σUn ＝　158 ×　47　／ 47 ＝ 158 N/mm^2

σLn ＝　158 N/mm^2

τ　＝　24 N/mm^2

(c) ボルト配置及び作用応力度



(d) ボルトの応力度照査

44列目のボルト照査

分担幅　　b1 ＝　15.0 cm

分担する力の合計

P1　＝　150　×12×（147＋158）／　2　＝　274050 N

必要ボルト本数（使用ボルト本数）

N1　＝　274050 ／（108000 × 1.00）＝ 2.5本　（3本使用）

せん断力の照査

ρs　＝　τ　× A ／132 ＝ 24×54000／132　＝ 9818 N ＞　ρa＝108000 N

合成応力の照査

$\rho c44 = \sqrt{((274050/3)^2 + 9818^2)} = 91876\ N > \rho a = 108000\ N$

（高力ボルト S10T M22 2面許容摩擦力　ρa ＝ 108000 N　無機ジンク Nmax ＝ 3本）

(e)　添接板の照査

2-SPL PL　4380　×　9　As ＝　788.4 cm^2 (SM490Y)

添接板の断面2次モーメント　　Is ＝ 12604151 cm^4　＞Iw

腹板の断面2次モーメント　　Iw ＝　9112500 cm^4

腹板の受持つ曲げモーメント

$Mw = 158 \times 9112500 \times 10^4 / 2250 = 6379 \times 10^6\ N \cdot mm$

添接板の曲げモーメント

$\sigma sp = 6379 \times 10^6 / (12604151 \times 10^4) \times 2190 = 111\ N/mm^2 < \sigma a = 210\ N/mm^2$

表3－2 計算例と解析結果の比較

対　象					計算例	解析結果	比　率
フランジ方式	必要ボルト本数		フランジ	本	58.3	58.3	100%
			リブ	本	29.5	29.5	100%
	添接板必要断面積	総断面	フランジ	cm^2	120.0	120.0	100%
			リブ	cm^2	118.8	118.8	100%
		純断面	フランジ	cm^2	150.0	150.0	100%
			リブ	cm^2	151.8	151.8	100%
ウェブ方式	必用ボルト本数			本	2.5	2.5	100%
	ボルトせん断力			N	9,818	9,818	100%
	ボルト合成応力			N	91,876	91,876	100%
	添接板応力			N/mm^2	111	111	100%

b.　使用内容に対する妥当性

鋼製防護壁の鋼部材の部材連結部の設計にAPOLLO SuperDesigner Spliceを使用することは，次のとおり，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

・検証の内容のとおり，フランジ部材，腹板部材の添接計算の検証を行っていることから，解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。