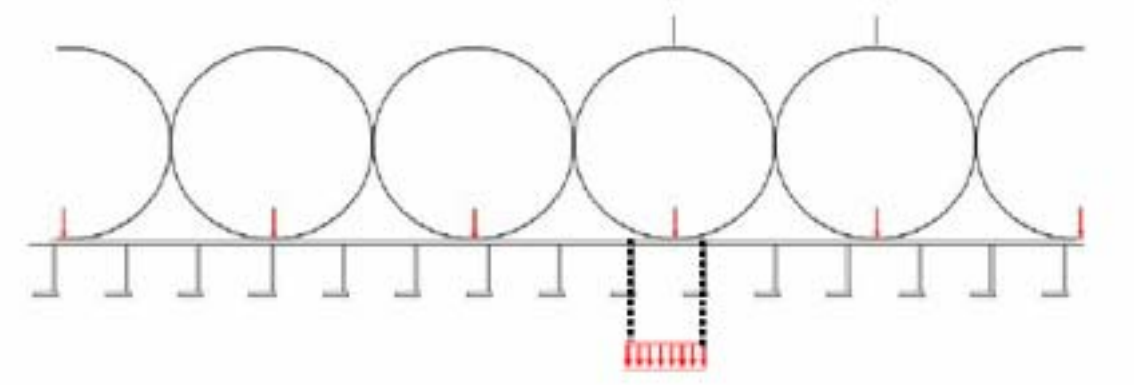
KC#609-1

規則６章１節[2.7.1]及び２節[2.5.4]によるスチールコイル積載による等分布荷重に関する規則改正提案について

下図のように１つ基本板パネルに渡り分布する荷重



１つの基本板パネルに荷重が分布する場合、等分布荷重は、次のようになる。

$$P = (n_{tier} \times W_{coil} \times l_{stiff}/l_{coil}) / (l_{stiff} \times S_{stiff}) = (n_{tier} \times W_{coil}) / (l_{coil} \times S_{stiff})$$

Load on one EPP　　Area of EPP

６章１節表３と４について、スチールコイル間の距離の 20%の間隙が計算に含まれていると理解している。同様の間隙が以下の等分布荷重算式にも含めることができる。

$$P = (n_{tier} \times W_{coil}) / (1.2 \times l_{coil} \times S_{stiff})$$

KC#609-2

6 章 1 節[2.7.1] 及び 2 節[2.5.4]によるスチールコイル積載

摘要

2005 年 10 月の JBP の第 3 次案 6 章 1 節[2.7.4]及び 2 節[2.5.4]のスチールコイル積載の規定において、スチールコイルが多くのダンネージで支持されている場合、等分布荷重として二重底を計算するよう提案されている。このことは、ダンネージは、もっとも近い縦通防撓材に荷重を有効に伝達することができるほどの剛性を有していると仮定されている。ダンネージの寸法又は剛性について規則には規定がない。ダンネージの剛性が無視できる場合、防撓材に作用する荷重は線荷重にすべきである。以下に示す比較計算は、この場合の規則要求は保守的でないことを示している。防撓材の間隔によっては 78%の増加が要求される。縦曲げによる応力を無視し板の完全な塑性強度を用いて計算した場合であっても、防撓材の要求断面係数は規則算式より 3-10%高くなる。

この計算では、設計荷重条件をネット寸法の構造に付加した場合に内底板の板及び防撓材の両方に対して無視できない塑性変形が生じることを示している。従って、膜としての応答に支配される有意な塑性変形が予想される。

この評価に基づき、内底板と縦通防撓材に対する規則算式は、線荷重に基づく算式に変更しなければならないと考える。ダンネージの寸法及び剛性に対して明確な規定を導入することは現実的でないと考える。

目次

概要 1
目次 1
はじめに 2
規則計算
DNVの代替手法による計算
塑性理論によるコイル応答計算
計算手順の概要
塑性計算
まとめ

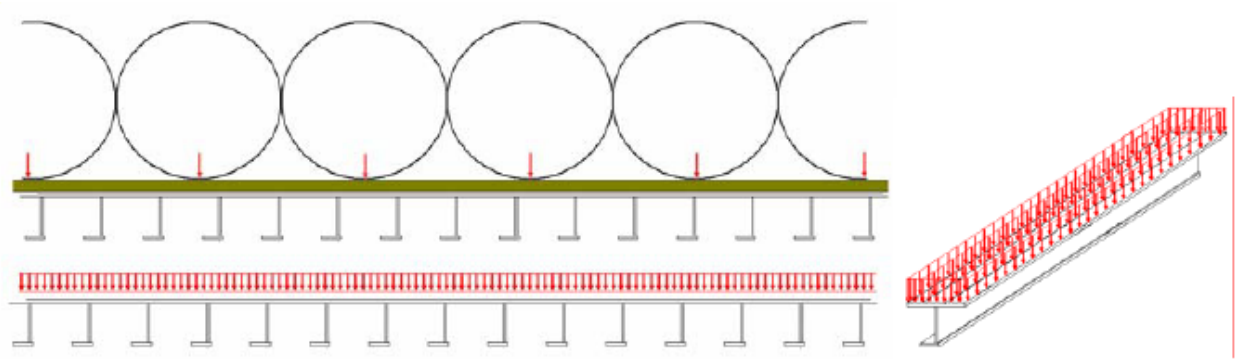
はじめに

JBP第3次案 6章2節[2.5.4]

“1パネルあたりの荷重点の数n2が10より大きい又はダンネージの数n3が５より大きい場合には、内底板には等分布荷重が作用するとみなして差し支えない。この場合、内底板付き防撓材のネット寸法は[3.2.3]の規定によらなければならない。”

本規定のDNVの解釈は、以下のとおりである。

最下段にあるコイルが船幅方向に6以上のダンネージで支持される場合、内底板に作用するコイルからの荷重は、下図のように等分布の圧力に簡易化できる。



荷重は、木製のダンネージによって縦通防撓材間に伝達される。このことは、剛性が極端に高いダンネージを要求している。この仮定は誤りで、圧力は防撓材に作用する線荷重に変更しなければならないと考える。この問題の理解を述べるために以下の簡単な比較を実施した。

以下を仮定する。

コイル（或いは最下段のコイル）： 重量40ｔ（約400kN）

長さ（コイル間隔を含む）： lc=1.2m

直径 ：D=1.5m

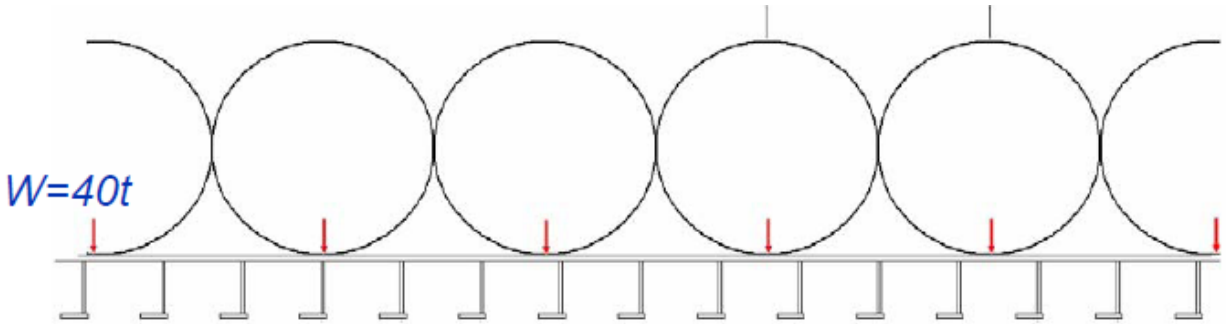
許容応力は、縦曲げによる応力を無視する場合、AH32材に対する最大許容応力である

$\lambda_s R_y$=0.9x235/0.78=271N/mm^{2}とする。

防撓材の間隔は、s1=500mmとs2=850mmの2種類計算した。

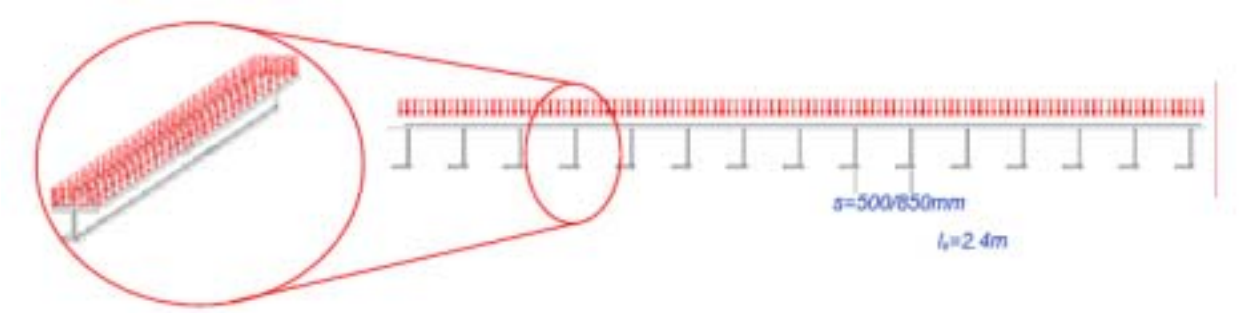
フロア間の防撓材の長さは、ls=2.4mとする。

加速度avは、g/2とする。



規則計算

規則計算は、二重底に等分布荷重が作用すると仮定する。



コイルからの圧力は、以下のとおりである。

$$P = W(g + a_v)/(Dl_c) = 40(9.81 \times 1.5)/(1.5 \times 1.2) = 327kN/m^2$$

1節[2.7.4]による要求板厚は、以下のとおりである。なお、Ca=Cr=1とする。

$$t_{req,s_1=500} = 15.8C_aC_rs\sqrt{\frac{P}{\sigma_{all}}} = 8.68mm + t_k$$

$$t_{req,s_2=850} = 15.8C_aC_rs\sqrt{\frac{P}{\sigma_{all}}} = 14.75mm + t_k$$

バラストタンクに隣接する内底板のtkは5.4mmである。

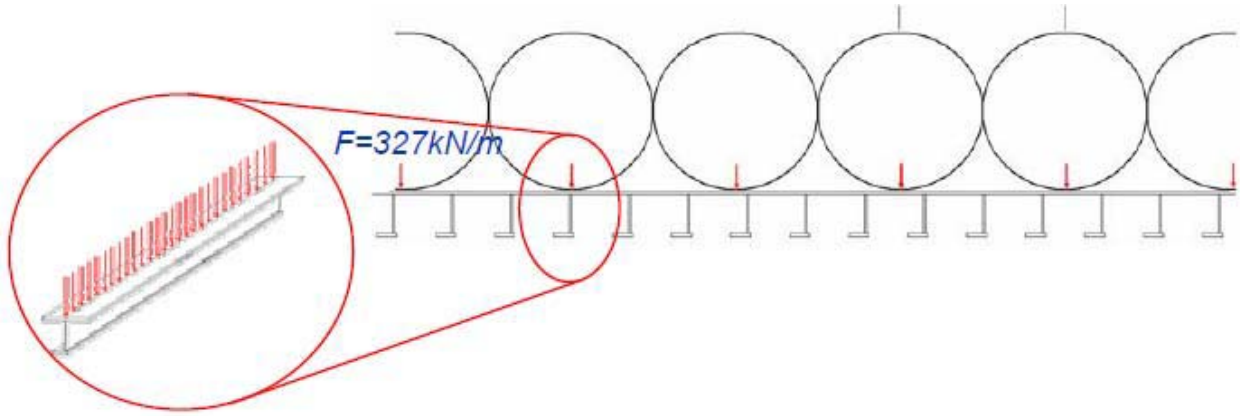
防撓材の要求断面係数は、以下のとおりである。

$$w_{req,s_1=500} = 10^3\frac{Psl_s^{\ 2}}{12\sigma} = 290cm^3$$

$$w_{req,s_2=850} = 10^3\frac{Psl_s^{\ 2}}{12\sigma} = 492cm^3$$

DNVの代替手法による計算

コイルからの荷重は最も近い防撓材に線荷重として伝達されると仮定する。コイルの径は防撓材間隔に正確には一致せず、二重底内には1以上のコイルが常にあるので、１つの縦通防撓材に接触する。これが最も厳しい状態なので、防撓材の寸法を決定する状態となる。



最も厳しい荷重が付加される縦通防撓材に作用する線荷重は、以下のとおりである。

$$q_l = W(g + a_v)/l_c = 40(9.81 \times 1.5)/1.2 = 491 kN/m$$

これに対応して防撓材に作用する端部モーメントは、以下のとおりである。

$$M = \frac{q_l l_s^2}{12} = 235 kNm$$

要求断面係数は、以下のとおである。

$$w_{req} = \frac{M}{\sigma} = \frac{160}{271} \times 10^3 = 869 cm^3$$

断面係数は、防撓材間隔には関係ない。

DNV計算による要求断面係数は、防撓材間隔s1=500mmのとき規則で要求される断面係数の3倍となる。規則に従って縦通防撓材を計算するためには、ダンネージが防撓材間で有効に荷重を伝達するために極端に硬いものでなければならない。

塑性理論によるコイル応答計算

参考として、スチールコイル荷重をうける内底板の最終強度（塑性強度）を計算した。使用した計算手順は、氷荷重が縦式防撓パネルに作用したときの評価のために導かれたものである。

計算手順の概要

荷重モデル

コイルの直径は２つの主要フレーム間隔より広い、D>2sとする。スチールコイルは、スチールコイルに比べ柔らかい木製の支持材上に積載される。コイルは木製支持を変形させ、図１のように荷重を内底板のわずかな距離ｂとなるよう広がる。

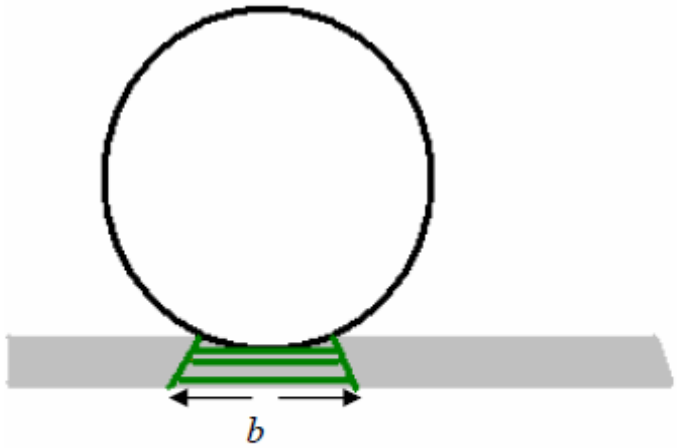


Figure 1 Steel coil deforming in to the wooden support

前述のように、コイルは二重底に任意に積載される。コイル直径Dは、縦通防撓材間隔に一致しない。結局、防撓材と接触するコイル及び板の中央にあるコイルが常にある。最初のものが防撓材の寸法を決

定する条件であり、後者が板の寸法を決定する条件となる。

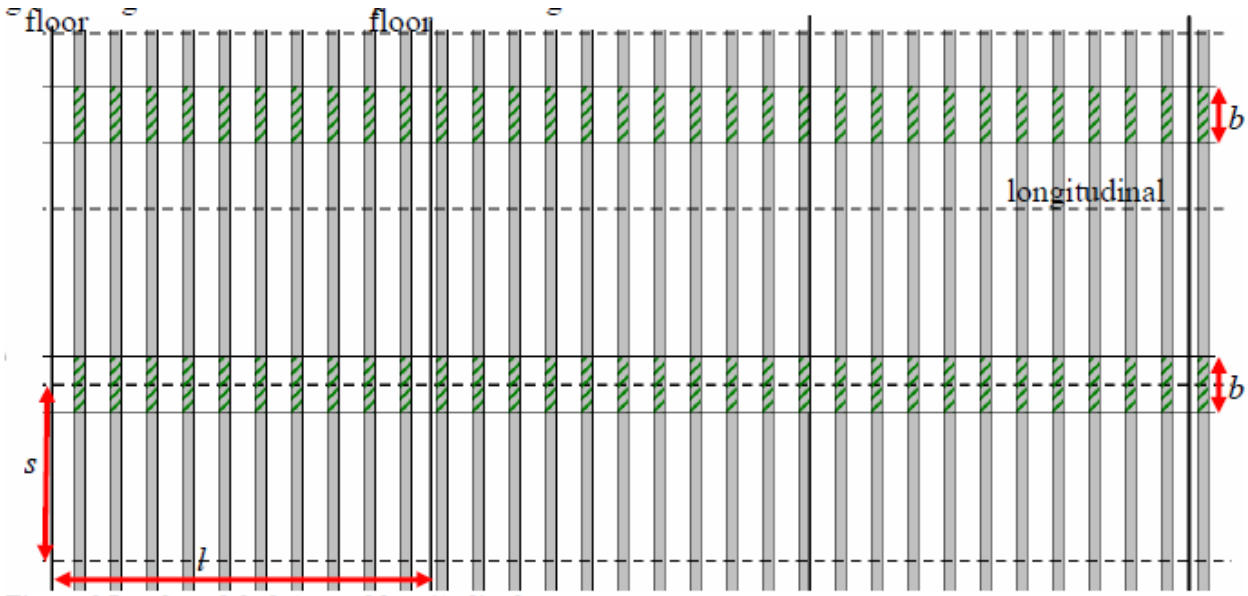


Figure 2 Load model plates and longitudinals

ダンネージの数が多い場合、木製支持材上のスチールコイルからの圧力は、図２にあるように幅ｂ内の等分布荷重に収束する。

縦通防撓材

さらに板及び縦通防撓材の塑性応答を仮定する。

幅ｂ内の圧力は、以下のとおりとなる。

$$P = \frac{q_l}{b} = \frac{W(g + a_v)}{l_e b}$$

要求せん断面積は、以下のように定義される。

$$A_{s,req} = 10 \frac{P \times 0.5 \times b_1 l}{\sigma_y / \sqrt{3}}$$

ここで、図３に示すように、b1/bが縦通防撓材に伝達される荷重の一部となり、(b-b1)/bが隣接する防撓材に板の曲げにより伝達されるものとなる。

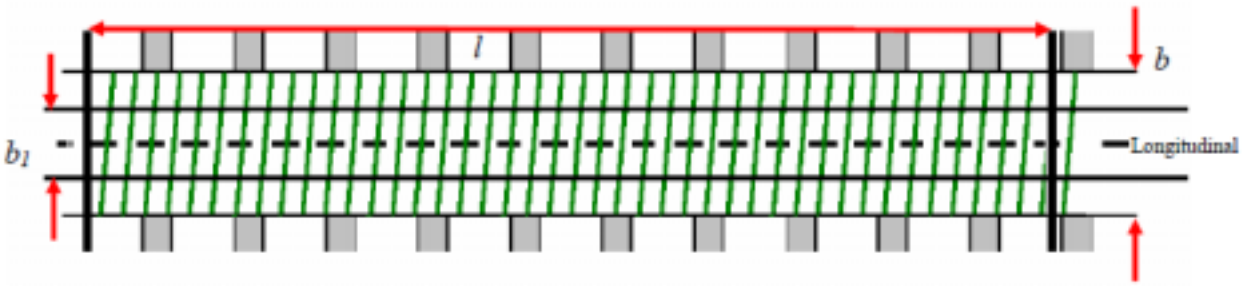


Figure 3 Relationship between b_1 and b

ここで、b1は、次式で与えられる。

$$b_1 = \max[k_0 b, b/3]$$

$$k_0 = 1 - \frac{2}{b}\left\{\sqrt{(s-b/2)^2 + \frac{10^{-3}t^2\sigma_y}{P}} - (s-b/2)\right\}$$

縦通防撓材の塑性断面係数は、次式で与えられる。

$$z_{req} = 10^3 \frac{Pb_1 l^2 \alpha_{Plastc}}{8\sigma_y}$$

ここで、$\alpha_{plastic}$は、端部における縦通防撓材の塑性強度と中央部における塑性強度の関係となり、次のようになる。

$$\alpha_{Plastic} = \frac{1}{2 + k_{wl}\left[\sqrt{1-\alpha_{shear}{}^2} - 1\right]}$$

$\alpha_{shear} = {A_{s,req}}/{A_{s,act}}$ は、１未満となる。

$A_{s,req}$は、防撓材の要求せん断面積であり、$A_{s,act}$は、実際のせん断面積である。α_{shear}が1のとき、縦通防撓材の最大要求断面係数を与える。

$$k_{wl} = \frac{1}{1 + 2\,{A_{fl,act}}/{A_{s,act}}}$$

ここで、Afl,actは、防撓材の面材の面積。

板

板の塑性応答に基づき、要求板厚は、次のようになる。

$$t_{req} = 15.8s\sqrt{2\frac{b}{s} - \left(\frac{b}{s}\right)^2}\sqrt{\frac{P}{\sigma_y}}$$

ここで、b=0.15mを仮定すると、上記条件に対する要求寸法は、次のようになる。

$$q_l = \frac{W(g+a_v)}{bl_c} = \frac{40(9.81\times1.5)}{0.15\times1.2} = 3270kN/m^2$$

防撓材によって伝達される荷重の比は、以下のようになる。

$$k_{0,s_2=850} = 1 - \frac{2}{b}\left\{\sqrt{(s-b/2)^2 + \frac{10^{-3}t^2\sigma_y}{P}} - (s-b/2)\right\} = 0.8326$$

$$b_1 = \max[k_0 b, b/3] = \max[0.1249, 0.05] = 0.1249m$$

即ち、隣接する防撓材に伝達される荷重の比は、16.7%となる。
要求せん断面積は、以下のとおりとなる。

$$A_{s,req} = 10\frac{P \times 0.5 \times b_1 l}{\sigma_y / \sqrt{3}} = 10\frac{3270 \times 0.5 \times 0.1249x2.4}{301/\sqrt{3}} = 28.22cm^3$$

α_{shear}が1としたとき、縦通防撓材の要求断面係数は、以下のとおりとなる。

$$k_{wl} = \frac{1}{1+2^{A_{fl,act}/A_{s,act}}} = \frac{1}{1+2^{(90\times13.1)/19.91}} = 0.4581$$

$$\alpha_{Plastic} = \frac{1}{2+k_{wl}\left[\sqrt{1-\alpha_{shear}{}^2}-1\right]} = \frac{1}{2+0.4581\left[\sqrt{1-1^2}-1\right]} = 0.6486$$

$$z_{req} = 10^3\frac{Pb_1 l^2 \alpha_{Plastc}}{8\sigma_y} = 10^3\frac{3270 \times 0.1249 \times 2.4^2 \times 0.6486}{8 \times 301} = 634cm^3$$

これは、縦通防撓材の要求ネット塑性断面係数である。
弾性断面係数は、約15-20%小さい。こうして、等価なネット弾性断面係数は約507-540となる。

板

$$t_{req} = 15.8s\sqrt{2\frac{b}{s}-\left(\frac{b}{s}\right)^2}\sqrt{\frac{P}{\sigma_y}} = 15.8 \times 0.85\sqrt{2\frac{0.15}{0.85}-\left(\frac{0.15}{0.85}\right)^2}\sqrt{\frac{3270}{301}} = 25.11mm$$

b=0.15mは、板のスパンの中央部において僅かに保守的な仮定となる。
b=0.3mを仮定すると、要求値は、23.86mmに減少する。
上記の計算において全体強度及び軸力が無視されていることに注意する必要がある。設計条件は許容応力を降伏強度とする塑性となる。疲労強度は評価していない。
実際の断面係数は、上記の計算より得られたものより小さい場合、縦通防撓材は、塑性変形する。不足分は、膜応答（即ち、有意な塑性変形）により最も近い防撓材の取付板に伝達される。

まとめ
2005年10月のJBPの第3次案6章1節[2.7.4]及び2節[2.5.4]のスチールコイル積載の規定において、スチールコイルが多くのダンネージで支持されている場合、等分布荷重として二重底を計算するよう提案されている。このことは、ダンネージは、もっとも近い縦通防撓材に荷重を有効に伝達することができるほどの剛性を有していることが仮定されている。

３つの計算手法により上記の計算を行った。すべての計算において、以下のコイルの特性を用いた。
W=40トン、長さ1.2m、直径1.5m、１コイルにつきダンネージの数は６より大きい。

(s=850mm)	ダンネージに関する仮定	$W_{req,net}$ (cm3)	$t_{req,net}$ (mm)
規則計算	非常に硬い	490	14.75
DNV代替手法	剛性はない	870	計算していない
塑性強度（縦曲げ応力を無視）	剛性はない	540*	25.11**
* 推定された弾性断面係数 ** 荷重幅b=0.15mとした場合。（詳細は上記計算を参照）			

ダンネージの寸法について、規則に要求規定がない。従って、規則算式による等分布荷重を仮定することは合理的ではない。もしダンネージが剛性なしと仮定すると、荷重は縦通防撓材に線荷重としなければならない。本計算では、防撓材の間隔に依存するが、このことは、縦通防撓材の断面係数を78%増加させる。

参考として、後者の条件に対し、塑性計算を実施した。計算は、全体強度に基づく応力を無視し、防撓材の完全な塑性を許容するσ_y=300として実施した。

計算は、比べ、要求断面性能は、縦通防撓材の$w_{plastic}/w_{elastic}$の比により規則算式による要求断面係数の3-10%増加することを示す。

計算は、設計荷重条件がネット寸法の構造に付加された場合内底板の板及び縦通防撓材に有意な塑性変形が予想されることを示す。

本評価に基づき、内底板及び縦通防撓材の規則算式を線荷重に基づく算式に変更しなければならないと考える。ダンネージの寸法及び剛性に関する明確な規定の導入は現実的でないと考える。