

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添2-007-03
提出年月日	2022年1月19日

VI-2-7-3-1-1 管の耐震性に関する説明書

2022年1月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

まえがき

本書は、サイトバンカ設備の管の耐震計算について説明するものであり、以下より構成される。

- (Ⅰ) 基本方針
- (Ⅱ) 計算書

(I) 基本方針

目 次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格・基準等	1
2. 耐震支持設計方針	2
2.1 管経路の設計	2
2.2 支持構造物配置の設計	2
2.3 支持構造物構造の設計	3
3. 計算方法	4
3.1 荷重の組合せ	4
3.2 管の耐震計算	4
3.3 支持構造物の耐震計算	5
3.4 計算精度と数値の丸め方	6
4. 計算書の構成	7

1. 一般事項

1.1 概要

本書は、サイトバンカ設備の管の耐震計算の基本方針について説明するものである。
なお、計算対象は管及び管に取り付く支持構造物とする。

1.2 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2. 耐震支持設計方針

管及び管に取り付く支持構造物を含む配管系の設計は、管経路の設計、支持構造物配置の設計、支持構造物構造の設計の手順で実施する。各設計項目における設計方法を以下に示す。

2.1 管経路の設計

管経路は建物形状、機器配置や系統設計条件を考慮するとともに、保守点検性の確保を考慮して決定する。この際、管内部にドレン溜りやエアポケットが生じることのないようにする。

なお、次項の支持構造物配置の設計において、管経路の変更が必要であると判断された場合は、管経路の再検討を実施する。

2.2 支持構造物配置の設計

支持構造物配置の検討に当たっては、三次元多質点系はりモデルによる解析を実施する。解析においては、原則として、固定点から固定点までを独立した1つのブロックとして配管系をモデル化し、配管系の固有値、並びに自重や地震等により管及び支持点に作用する荷重を算定する。なお、支持構造物の配置は、建物との共振のおそれがない配置となるよう決定する。

支持構造物配置の成立性確認として、以下に示す項目を確認する。

- (1) 配管系の固有値を確認し、配管系が建物との共振のおそれがないことを確認する。
- (2) 解析により算定した管に作用する荷重に基づき計算した管の応力が、許容応力以下となることを確認する。
- (3) 解析により算定した支持点荷重が過大でないことを確認する。
- (4) 建物や他構造物の配置を考慮した上で、解析上の支持点に支持構造物が設置可能であることを確認する。

確認の結果、上述の条件を満たさない場合は、支持構造物配置の再検討を実施する。支持構造物配置の再検討で成立性確認が困難と判断される場合は、必要に応じて管経路の再検討を実施する。

なお、解析は計算機コード「H I S A P」により実施する。また、配管系の解析モデル作成に当たっては、以下を考慮する。

- (1) 配管系は三次元多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、ねじり及び軸力に対する剛性を考慮する。
- (2) 弁等の偏心質量がある場合には、その影響を評価できるモデル化を行う。また、弁の剛性を考慮したモデル化を行う。
- (3) 同一モデルに含める範囲は、原則として固定点から固定点までとする。
- (4) 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。
- (5) 質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを十分に

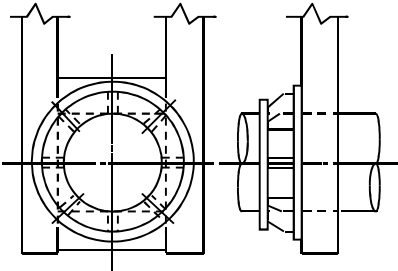
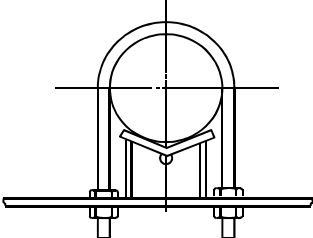
- 表現できるように、適切な間隔で設ける。
- (6) 配管の支持構造物は、以下の境界条件として扱うことを基本とする。
- a. レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。
 - b. アンカ：6方向の剛性を考慮する。
- (7) 配管系の質量は、配管自体の質量の他に弁等の集中質量、保温材等の付加質量及び管内流体の質量を考慮する。
- (8) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (9) 解析においては、以下に示す荷重条件を考慮する。
- a. 内圧
 - b. 機械的荷重（自重その他の長期的荷重）
 - c. 地震荷重（配管系重心レベル上階の静的震度による慣性力）

2.3 支持構造物構造の設計

支持構造物は、三次元多質点系はりモデルによる配管系の解析により算定した自重、地震等による支持点荷重が作用した際に生じる応力が、許容応力以下となるよう構造を決定する。また、建物と共振しないように十分な剛性を有する構造とする。

本工事範囲において使用する支持構造物の種類、機能及び用途を表 2-1 に示す。

表 2-1 支持構造物の種類、機能及び用途

種類	概略図	機能	用途
アンカ		変位及び回転を完全に拘束する。	配管系の解析における解析モデルの境界点として固定点を設ける際に使用する。
レストレイント		一定方向の変位を拘束する。	管に作用する慣性力により生じる応力の低減を目的として、変位を拘束する際に使用する。

3. 計算方法

3.1 荷重の組合せ

耐震計算において考慮する荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

設備	管クラス	耐震重要度分類	荷重の組合せ	許容応力状態
サイトバンカ設備	クラス 3 管	B	$D + P_d + M_d + S_B$	BAS

注：本表に使用する記号について、Dは死荷重、 P_d は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重、 M_d は当該設備に設計上定められた機械的荷重、 S_B はBクラスの設備に適用される静的地震力、BASはBクラス設備の地震時の許容応力状態を示す。

3.2 管の耐震計算

許容応力状態BASにおける一次応力が許容応力以下であることを確認する。

計算式を以下に示す。また、計算式の記号説明を表 3-2 に示す。

$$S_{pr m} = P \cdot D_o / 4 \cdot t + 0.75 \cdot i_1 \cdot (M_a + M_b) / Z \leq S_y^*$$

注記*：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方の値とする。

表 3-2 計算式の記号説明 (管の耐震計算)

記号	単位	定義
D_o	mm	管の外径
i_1	—	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値
M_a	N・mm	管の機械的荷重 (自重その他の長期的荷重に限る。) により生じるモーメント
M_b	N・mm	管の機械的荷重 (地震を含めた短期的荷重) により生じるモーメント
P	MPa	地震と組合せるべき運転状態における圧力
S	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の最高使用温度における許容引張応力
$S_{pr m}$	MPa	一次応力
S_y	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点
t	mm	管の厚さ
Z	mm ³	管の断面係数

3.3 支持構造物の耐震計算

許容応力状態BASにおける一次応力が許容応力以下であることを確認する。
計算式を以下に示す。また、計算式の記号説明を表3-3に示す。

(1) 部材

a. 引張応力

$$\sigma_t = F_t / A \leq 1.5 \cdot f_t$$

b. せん断応力

(a) 管軸直角方向 (Y方向, Z方向)

$$\tau_y = F_y / A_y \leq 1.5 \cdot f_s, \quad \tau_z = F_z / A_z \leq 1.5 \cdot f_s$$

(b) ねじり

$$\tau_p = M_p / Z_p \leq 1.5 \cdot f_s$$

c. 圧縮応力

$$\sigma_c = F_c / A \leq 1.5 \cdot f_c$$

d. 曲げ応力 (管軸直角方向 (Y方向, Z方向))

$$\sigma_{by} = M_y / Z_y \leq 1.5 \cdot f_b, \quad \sigma_{bz} = M_z / Z_z \leq 1.5 \cdot f_b$$

e. 組合せ応力

$$\sqrt{(\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)} \leq 1.5 \cdot f_t, \quad \sigma = \sigma_t + \sigma_{by} + \sigma_{bz}, \quad \tau = \sqrt{(\tau_y^2 + \tau_z^2)} + \tau_p$$

(2) 溶接部

a. 引張応力

$$\sigma_t = F_t / A_w \leq 1.5 \cdot f_s$$

b. せん断応力

(a) 管軸直角方向 (Y方向, Z方向)

$$\tau_y = F_y / A_{yw} \leq 1.5 \cdot f_s, \quad \tau_z = F_z / A_{zw} \leq 1.5 \cdot f_s$$

(b) ねじり

$$\tau_p = M_p / Z_{pw} \leq 1.5 \cdot f_s$$

c. 曲げ応力 (管軸直角方向 (Y方向, Z方向))

$$\sigma_{by} = M_y / Z_{yw} \leq 1.5 \cdot f_s, \quad \sigma_{bz} = M_z / Z_{zw} \leq 1.5 \cdot f_s$$

d. 組合せ応力

$$\sqrt{(\sigma^2 + \tau^2)} \leq 1.5 \cdot f_s, \quad \sigma = \sigma_t + \sigma_{by} + \sigma_{bz}, \quad \tau = \sqrt{(\tau_y^2 + \tau_z^2)} + \tau_p$$

表 3-3 計算式の記号説明 (支持構造物の耐震計算)

記号	単位	定義
A	mm^2	部材の断面積
A_w	mm^2	溶接部の断面積
A_y, A_z	mm^2	部材の有効せん断面積 (Y方向, Z方向)
A_{yw}, A_{zw}	mm^2	溶接部の有効せん断面積 (Y方向, Z方向)
F_c	N	圧縮荷重
F_t	N	引張荷重
F_y, F_z	N	せん断荷重 (Y方向, Z方向)
f_b	MPa	許容曲げ応力
f_c	MPa	許容圧縮応力
f_s	MPa	許容せん断応力
f_t	MPa	許容引張応力
M_p	$\text{N}\cdot\text{mm}$	ねじりモーメント
M_y, M_z	$\text{N}\cdot\text{mm}$	曲げモーメント (Y方向, Z方向)
Z_p	mm^3	部材の極断面係数
Z_{pw}	mm^3	溶接部の極断面係数
Z_y, Z_z	mm^3	部材の断面係数 (Y方向, Z方向)
Z_{yw}, Z_{zw}	mm^3	溶接部の断面係数 (Y方向, Z方向)
σ	MPa	組合せ応力 (引張方向)
σ_{by}, σ_{bz}	MPa	曲げ応力 (Y方向, Z方向)
σ_c	MPa	圧縮応力
σ_t	MPa	引張応力
τ	MPa	組合せ応力 (せん断方向)
τ_p, τ_y, τ_z	MPa	せん断応力 (ねじり, Y方向, Z方向)

3.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表3-4に示すとおりとする。

表 3-4 表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点第1位	四捨五入	整数位
評価結果	計算応力	MPa	小数点第1位	切上げ	整数位
	許容応力*	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位
	支持点荷重	kN, $\text{kN}\cdot\text{m}$	小数点第1位	切上げ	整数位

注記*：設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 及び表 8 に記載された温度の中間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

4. 計算書の構成

サイトバンカ設備の管は，安全重要度クラスⅢのBクラスに属することから，以下に示す構成で計算書を作成するものとする。

(1) 概要

本基本方針に基づき，管及び支持構造物の耐震計算を実施した結果を示す旨を記載する。

(2) 概略系統図及び鳥瞰図

a. 概略系統図

工事計画記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

b. 鳥瞰図

工事計画記載範囲の管のうち，最大応力評価点の許容応力／計算応力（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として解析モデル図を添付する。

(3) 評価結果

a. 管の応力評価結果

工事計画記載範囲の管のうち，裕度が最小となる解析モデルにおける最大応力評価点の評価結果を記載する。

b. 支持構造物の応力評価結果

工事計画記載範囲の支持点のうち，支持点荷重が最大となる支持点を代表として，裕度が最小となる応力分類の評価結果を記載する。

(Ⅱ) 計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 評価結果	12
3.1 管の応力評価結果	12
3.2 支持構造物の応力評価結果	13

1. 概要

本書は、(I) 基本方針に基づき、管及び支持構造物の耐震計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示すとおりとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、最大応力評価点の許容応力/計算応力（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図及び最大応力評価点の評価結果を記載する。


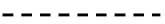
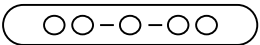
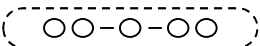

(2) 支持構造物

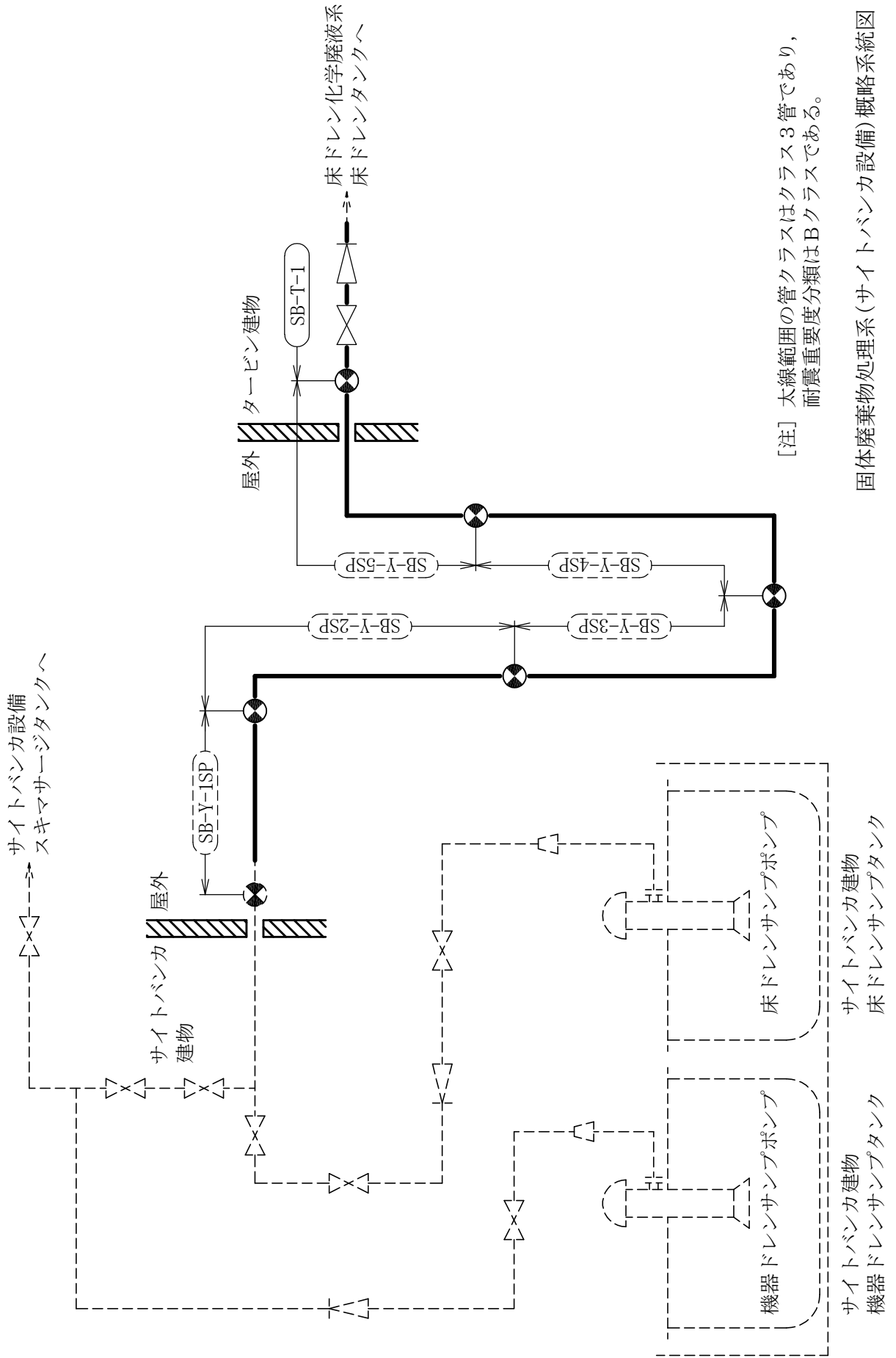
工事計画記載範囲の支持点のうち、支持点荷重が最大となる支持点を代表として、裕度が最小となる応力分類の評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図





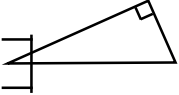
概略系統図記号凡例

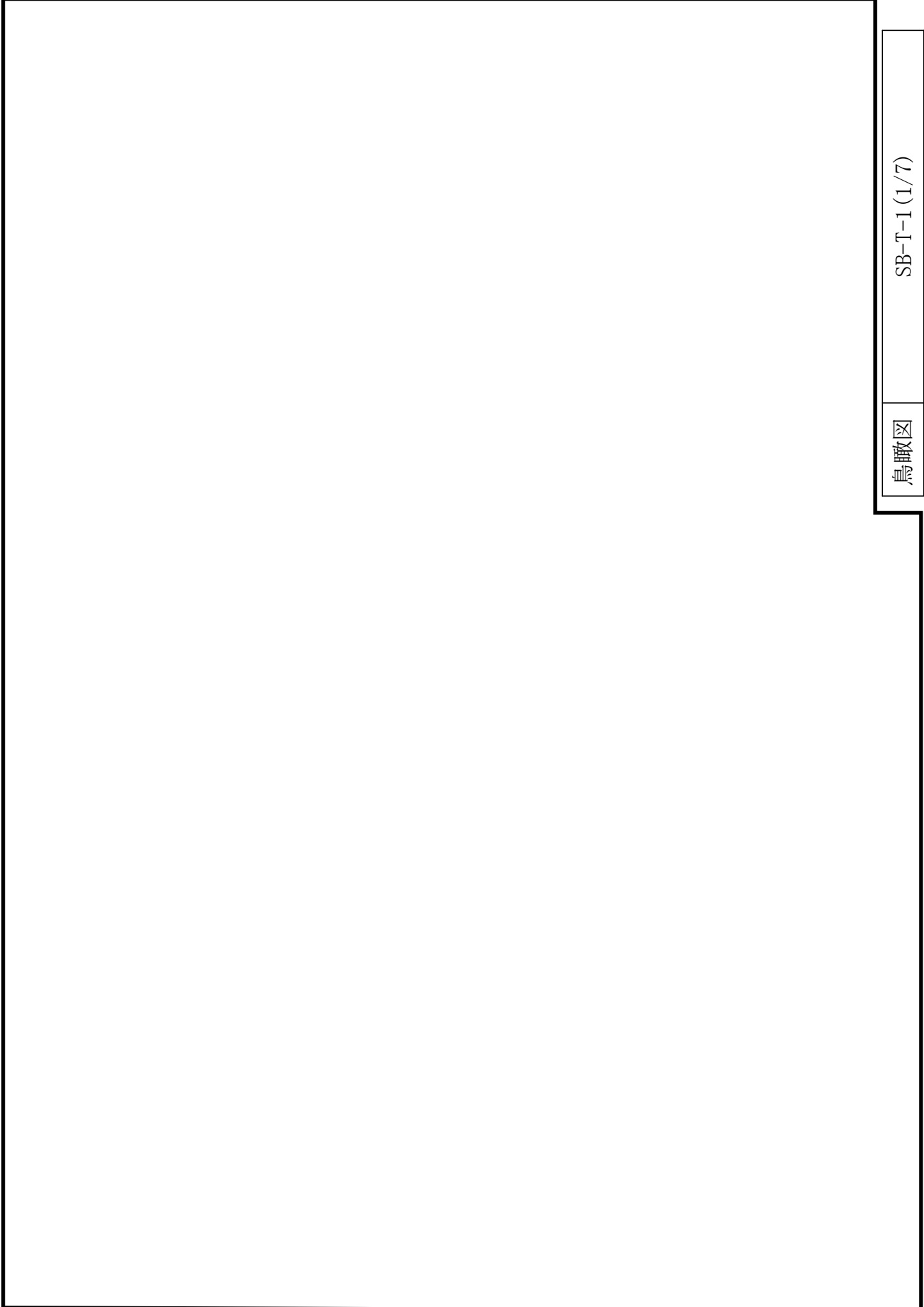
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ



2.2 鳥瞰図

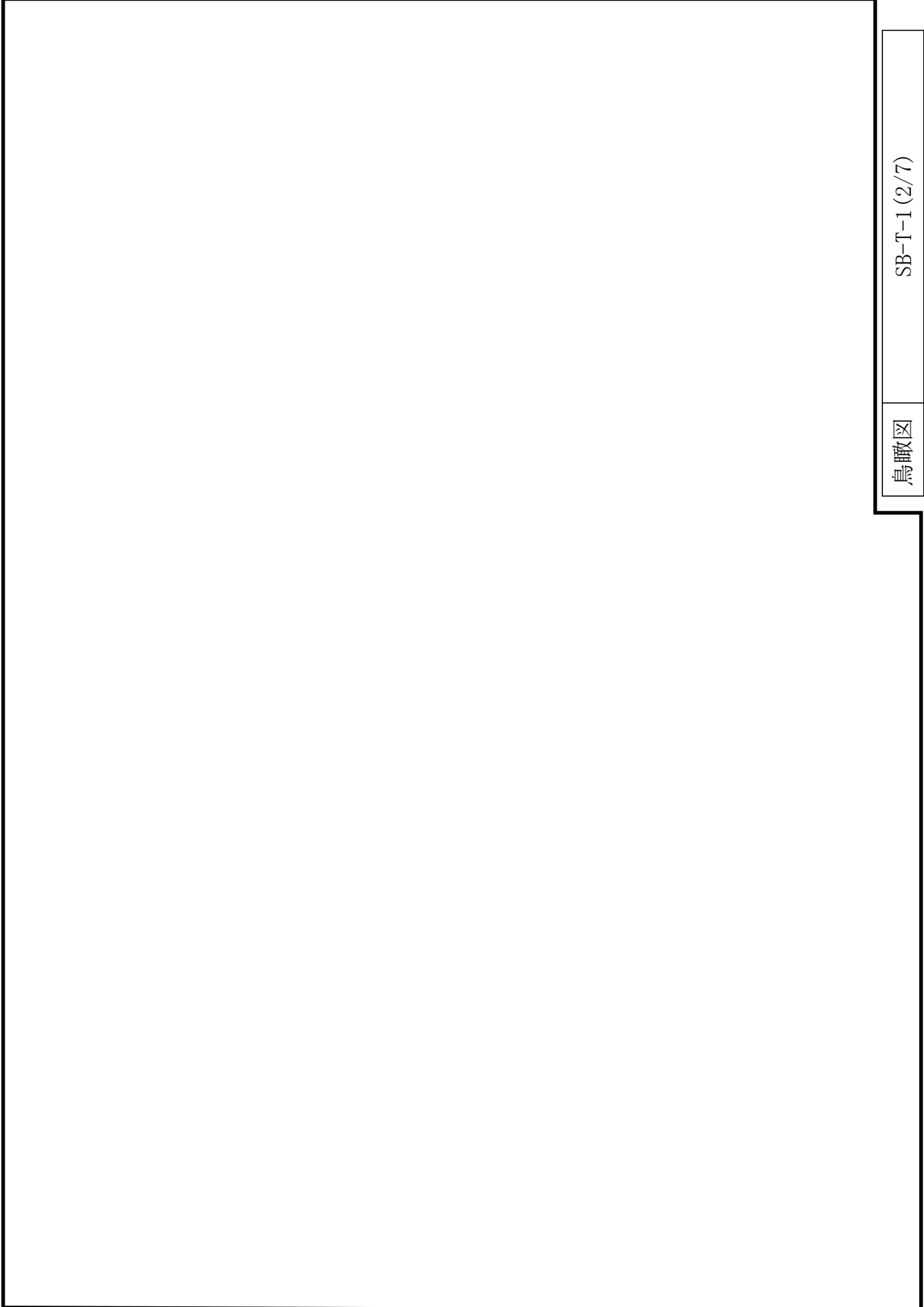
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。) 注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



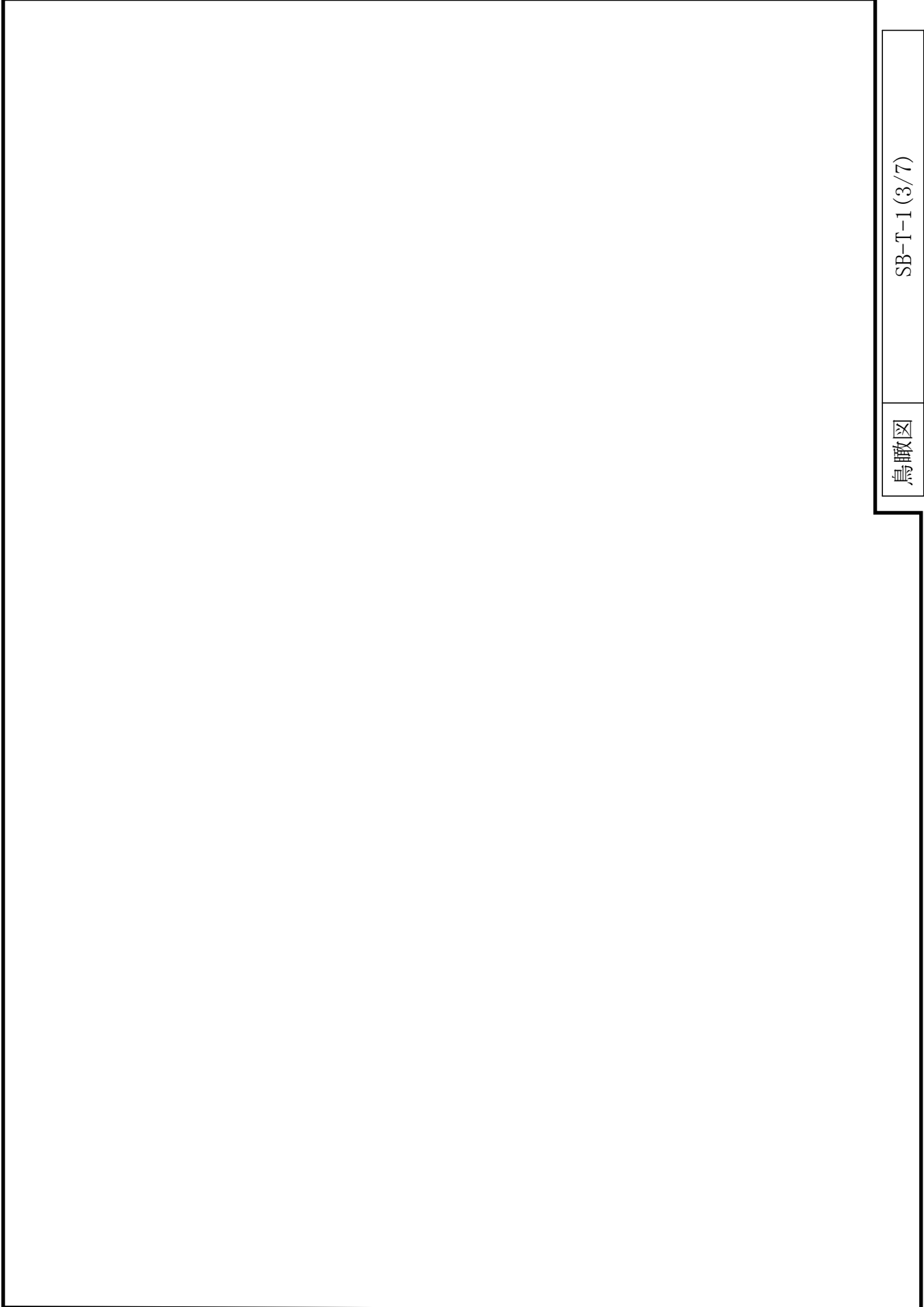
鳥瞰図

SB-T-1 (1/7)



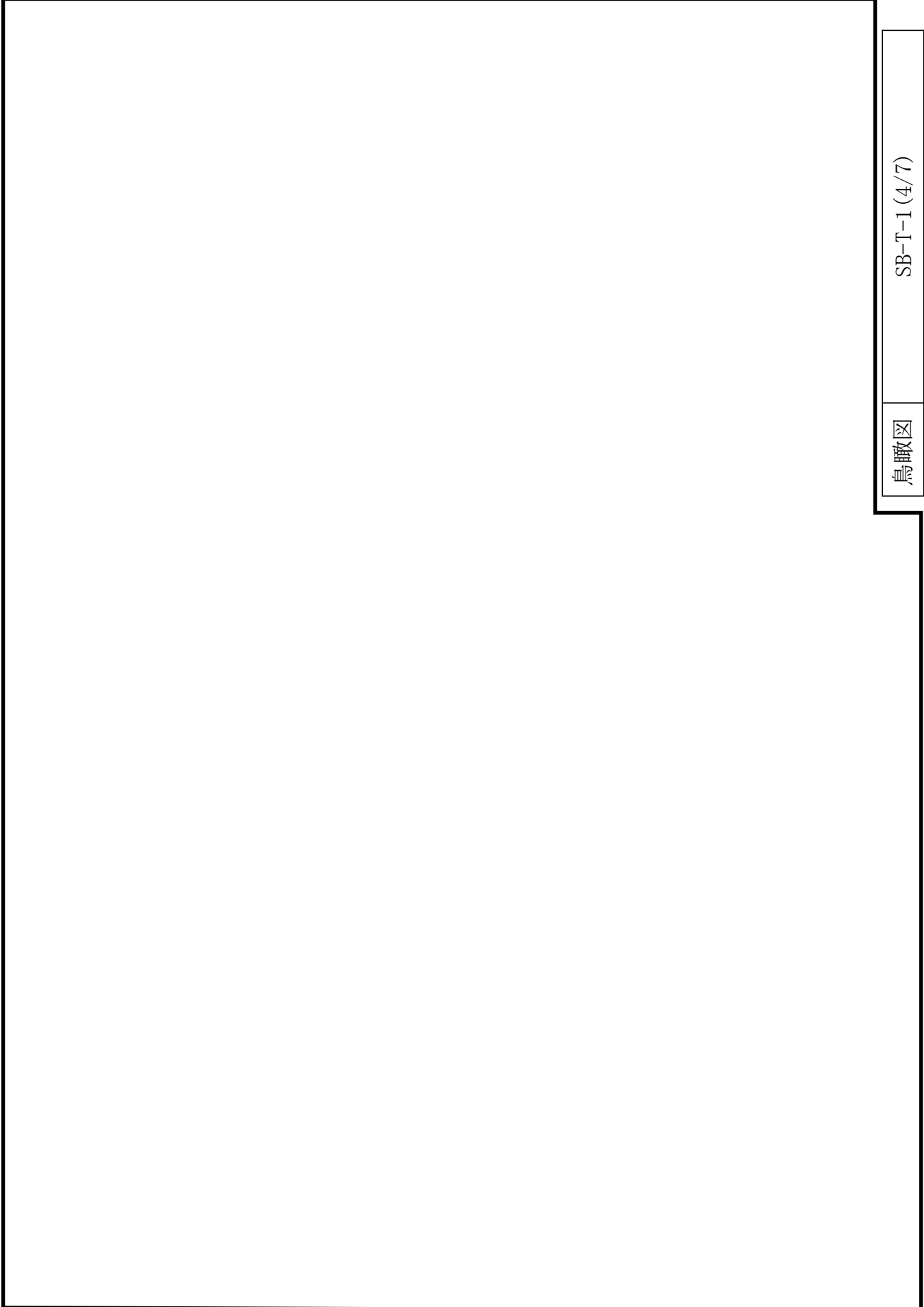
鳥瞰図

SB-T-1 (2/7)



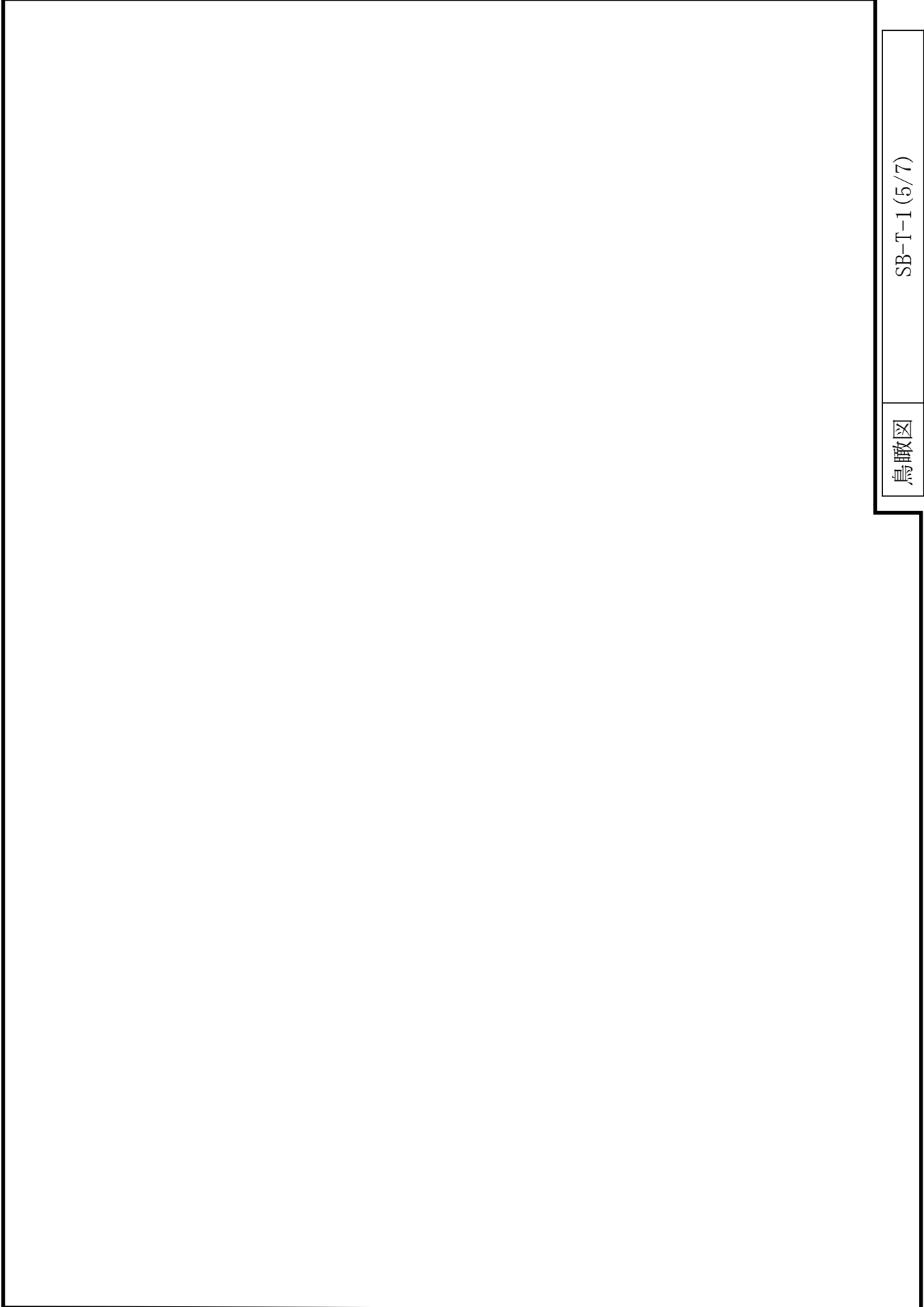
鳥瞰図

SB-T-1 (3/7)



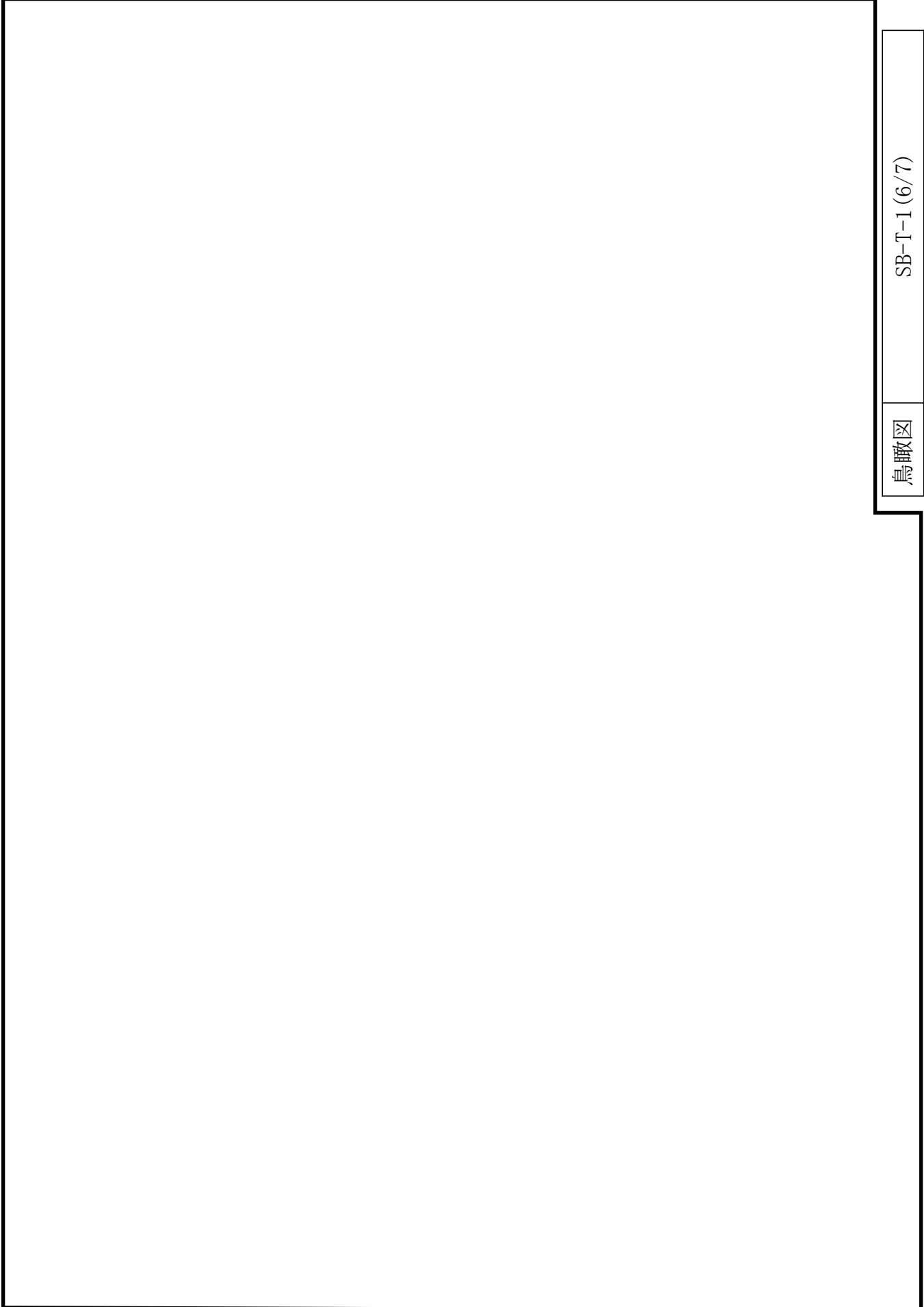
鳥瞰図

SB-T-1 (4/7)



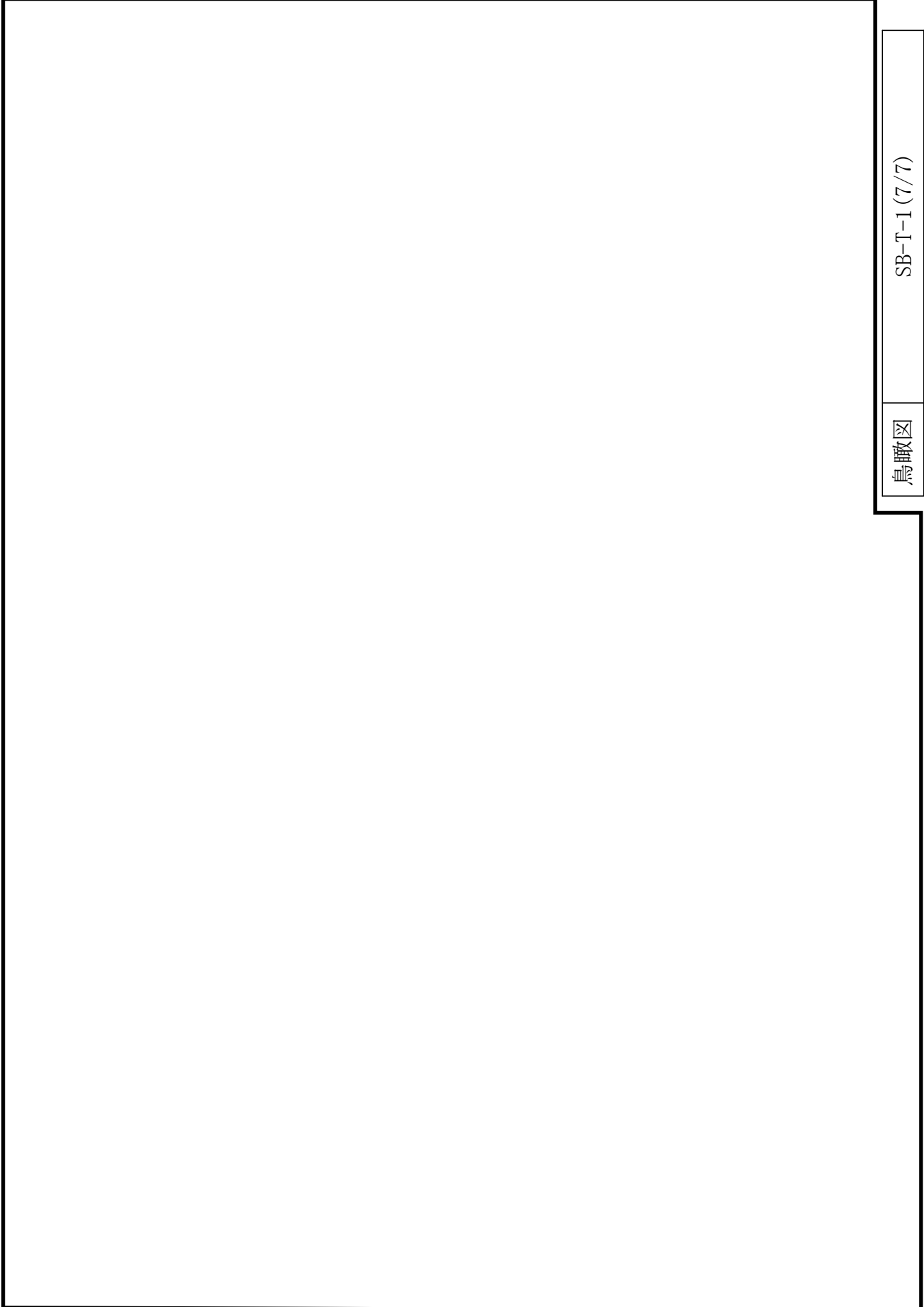
鳥瞰図

SB-T-1 (5/7)



鳥瞰図

SB-T-1 (6/7)



鳥瞰図

SB-T-1 (7/7)

3. 評価結果

3.1 管の応力評価結果

下表に示すごとく最大応力は許容応力以下である。

クラス3管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 S _{prm}	許容応力 S _y *
SB-T-1	B A S	153	24	234

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、S_yと1.2・Sのうち大きい方の値とする。

3.2 支持構造物の応力評価結果

下表に示すごとく計算応力は許容応力以下である。

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
					F x	F y	F z	M x	M y	M z			
					1	1	1	1	1	1	組合せ	113	124
AN-SB-26619	アンカ	ラゲ	SGV410	60	1	1	1	1	1	1	組合せ	113	124