

型式証明時におけるバスケットの設計の考え方について

1. 評価方針

Hitz-B52型のバスケットは主に、燃料を収納する角チューブ（以下、コンパートメントという。）、コンパートメントの周囲に [] したサポートプレート、除熱性能を高めるための伝熱部材（アルミニウム合金）で構成される。（図1 バスケットの概要および応力評価位置参照。）サポートプレート上面に取り付けられた []

ことで、52体のコンパートメントを束ねる構造とする。評価方針は次のとおり。

- ・バスケットに作用する荷重は、水平方向（地震荷重）と鉛直方向（吊上げ、支持架台への衝突、地震荷重）の2種類である。
- ・解析の対象は、水平及び鉛直方荷重に対し、使用済燃料を支持し幾何学的配置を維持する主要な構成部材であるコンパートメント及びサポートプレートとする。
- ・ [] の評価については別途3項に示す。
- ・鉛直荷重に対しては、コンパートメントは慣性力に対し荷重を受ける最下部の評価を行う。サポートプレートは片持ち梁としてモデル化し、支持する伝熱部材の荷重に対し、サポートプレート取付部に発生する応力の評価を行う。（図2 応力評価方針図参照）
- ・水平荷重に対しては、バスケットが胴に衝突する箇所の近傍の、全荷重の負荷がかかるコンパートメントを対象とし、両端支持の梁としてモデル化し、コンパートメント断面に発生する応力を評価する。サポートプレートはコンパートメントから伝達された荷重に対し、平板で支持するものとし、そこに発生する応力を評価する。（図3 応力評価方針図参照）
- ・バスケットは金属キャスク構造規格のバスケットとして設計を行い、発生応力を応力評価式により算出し、MCD-2300の許容値基準と比較することで評価を行う。

2. 溶接部の評価

- ・サポートプレートとキャスク本体間にギャップを設けており、サポートプレートの外周方向への熱膨張を妨げるものはないことから、サポートプレートの熱応力は無視できる。
- ・バスケットは金属キャスク構造規格 MCD-2400 に従った溶接効率 [] を考慮し、対象部材に対し、 [] を掛け合わせた許容値で評価を行う。

3. [] の評価

- ・鉛直方向荷重の場合、 [] に荷重はかからない。
- ・水平方向荷重の場合、バスケットと胴との衝突によりサポートプレートには半径方向の負荷がかかるが、周方向には荷重はかからない。そのため、サポートプレートの [] には荷重はかからないことから評価を省略する。
- ・ [] は水平方向荷重に対しては、コンパートメント及び使用済燃料の荷重を支持することで支圧荷重が負荷されることから、支圧応力の評価を実施する。

4. 評価

安全係数 FS を許容値と発生応力との比と定義した場合、最小の安全係数は20以上あり、十分裕度があることを確認した。（ $FS = (\text{許容値}) / (\text{発生応力})$ ）

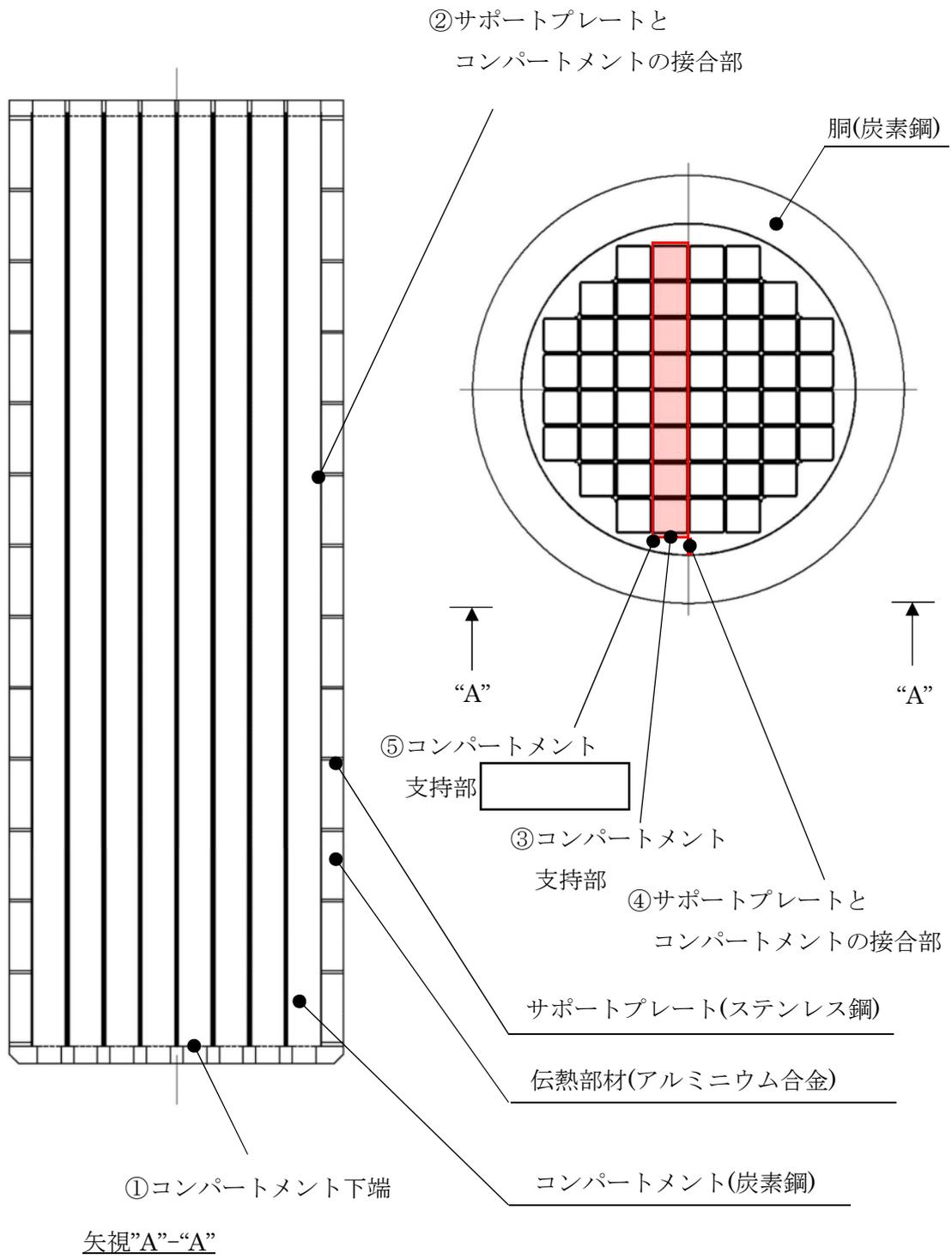


図1 バスケットの概要および応力評価位置

水平方向荷重に対する評価	
全体の荷重	各構成部材の荷重
<p>曲げ応力はサポートプレートピッチ中間で最大となる。</p> <p>サポートプレートはコンパートメント 1 ピッチ分を支持している。</p>	<p>コンパートメント</p> <p>キャスト胴</p> <p>サポートプレート</p>
コンパートメント	サポートプレート
<ul style="list-style-type: none"> 一次膜応力：下図のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> 一次曲げ応力：下図のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> 支圧応力、圧縮応力：支持するサポートプレートとの接触部に発生する。 <ul style="list-style-type: none"> せん断応力：一次膜応力と同じ。サポートプレート支持部に発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> 一次膜応力：コンパートメント一列分の荷重がサポートプレートに負荷され、圧縮荷重として作用する。 <p>コンパートメント 1 列分</p> <ul style="list-style-type: none"> 一次曲げ応力：曲げ応力は発生しない。 せん断応力：せん断応力は発生しない。 支圧応力、圧縮応力：一次膜応力と同じ。コンパートメント支持部に発生する。

図 2 水平方向荷重の応力評価方針図

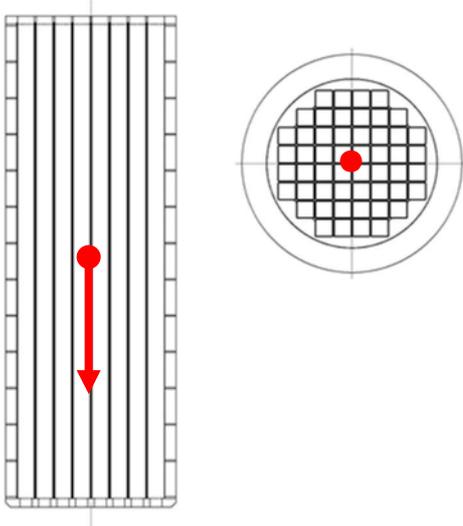
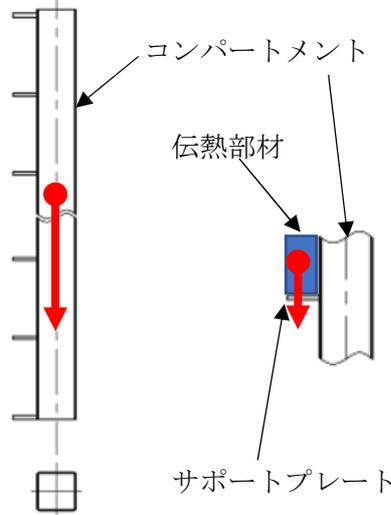
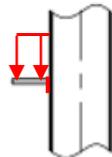
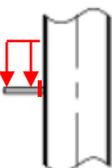
鉛直方向荷重に対する評価	
全体の荷重	各構成部材の荷重
	
コンパートメント	サポートプレート
<ul style="list-style-type: none"> 一次膜応力：下図のとおり自重により底部の圧縮応力が最大となる。  <ul style="list-style-type: none"> 一次曲げ応力：曲げ応力は発生しない。 せん断応力：せん断応力は発生しない。 支圧応力、圧縮応力：下図のとおり底面に発生。 	<ul style="list-style-type: none"> 一次膜応力、曲げ応力：下図の通り、曲げ応力のみ発生する。  <ul style="list-style-type: none"> せん断応力：下図の通り、サポートプレートの取付部にせん断応力が発生する。  <ul style="list-style-type: none"> 支圧応力、圧縮応力：支圧応力、圧縮応力は発生しない。

図3 鉛直方向荷重の応力評価方針図

5. バスケットの構造について

(1) バスケット構造

バスケットの構造図を図 4 から図 6 に、バスケット全体のイメージ及び各部品のイメージを図 7 から図 9 に示す。

(2) 伝熱部材の取付方法

伝熱部材は、コンパートメントを束ねたのち、コンパートメントに等間隔に取り付けられた [] のサポートプレート及び上部/下部プレート間に配置される。

伝熱部材は、バスケットを組み込むまでのバスケットへの保持のために、サポートプレートに取り付けられた部材にボルトで固定する。

伝熱部材は、構造部材として取り扱わないが、貯蔵時にはサポートプレートに負荷される荷重として考慮を行う。また、伝熱部材は、キャスク内に挿入後は、その幾何学形状からボルトの固定の有無にかかわらず離脱することはないことから、固定ボルトも強度部材としての考慮は不要である。

(3) サポートプレートの締結方法

サポートプレートは、サポートプレート上面に取り付けられた [] 周方向を拘束することで、52 体のコンパートメントを束ねる構造とする。

サポートプレートは図 10 に示すとおり [] により、必要に応じて変形を防止する治具を用いてコンパートメントに接合される。 [] を実施し、 [] に規定された [] を考慮して設計を行う。

[] の強度については、別途 6 項で説明する。

(4) 異材接手（サポートプレートとコンパートメント）について

コンパートメント（炭素鋼）とサポートプレート（ステンレス鋼）の組み合わせに対する異種金属接触腐食（ガルバニック腐食）の考慮であるが、アノードである炭素鋼とカソードであるステンレス鋼の面積比としては炭素鋼の方が 4 倍以上大きくなることから、ステンレス協会、「ステンレス鋼便覧（第 3 版）」、日刊工業新聞社（1995）、P.1359 の表 6.6 流動海中における異種金属拙速による腐食の加速率によれば、炭素鋼の腐食は 2～3 倍程加速されると考えるが、炭素鋼自体は下記(5)のとおり防錆措置を行うことから、腐食の影響はないと考える。さらに貯蔵時においては、不活性雰囲気維持される限り腐食しない。

(5) コンパートメントの防錆処理について

コンパートメントは、貯蔵時には不活性雰囲気維持される限り腐食しないが、燃料装荷時に冠水し腐食環境にさらされるため、炭素鋼部分は防錆措置として [] を施工する。

(6) 中性子吸収材の支持について

中性子吸収材は、コンパートメント間に配置された [] 及び、上部/下部プレートに囲まれた空間に挿入することにより、中性子吸収材の自重以外の荷重はかからない構造となっている。また、中性子吸収材の厚みはコンパートメント間の隙間よりも厚くならないように設定していることから、水平方向荷重に対して、中性子吸収材にコンパートメントからの荷重が伝達されることはない。

(7) [] の強度評価について

鉛直方向荷重（設計時、貯蔵架台への衝突時、鉛直方向地震力が作用する場合）に対しては、[] には応力は発生しない。水平方向荷重（水平方向荷重が作用する場合）に対しては、コンパートメントを支持するために支圧応力が発生することから、評価を行う。その他の応力（膜応力、曲げ応力又はせん断応力）は発生しない。

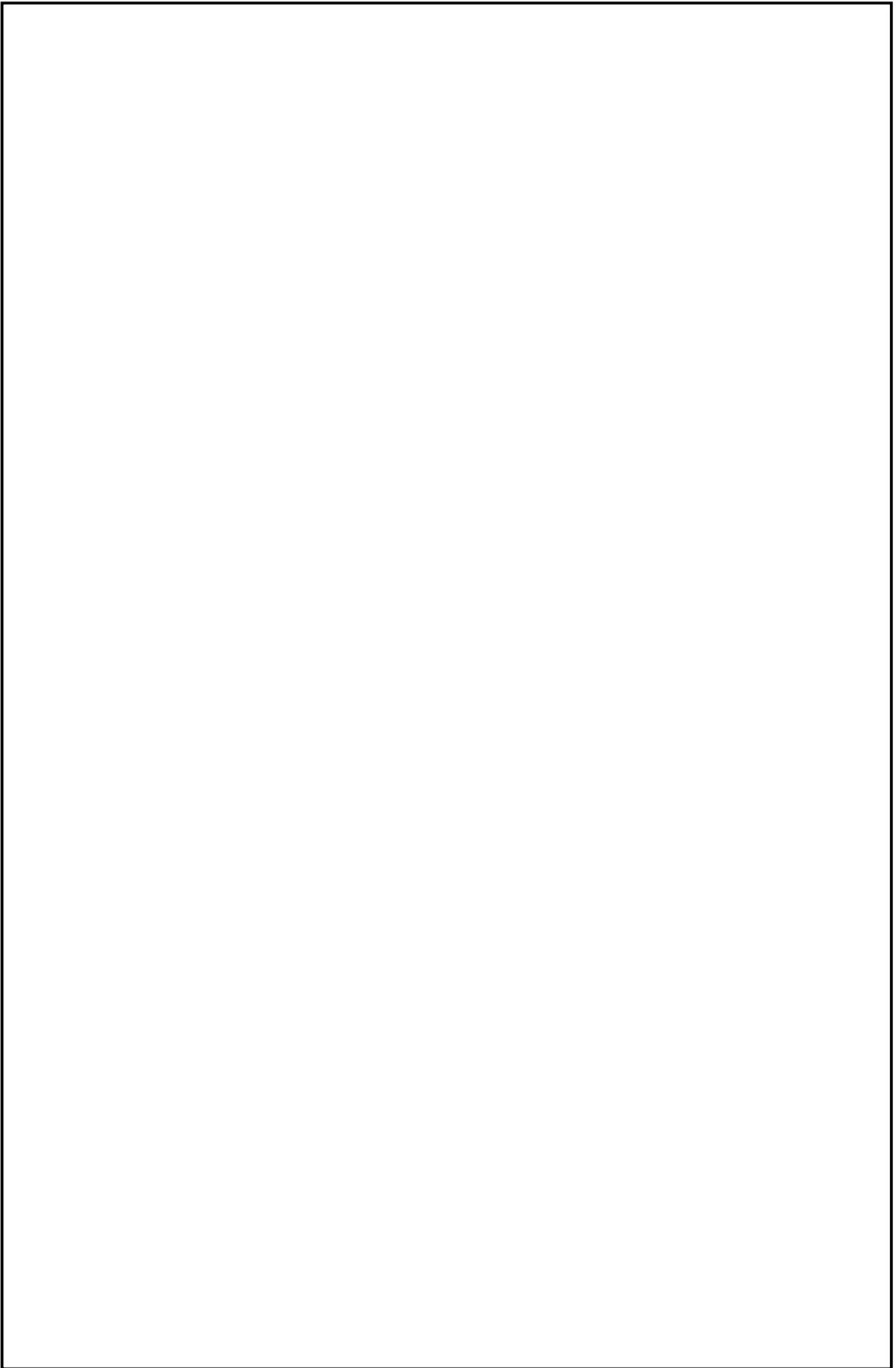


図4 バスケット構造図 (1/3)

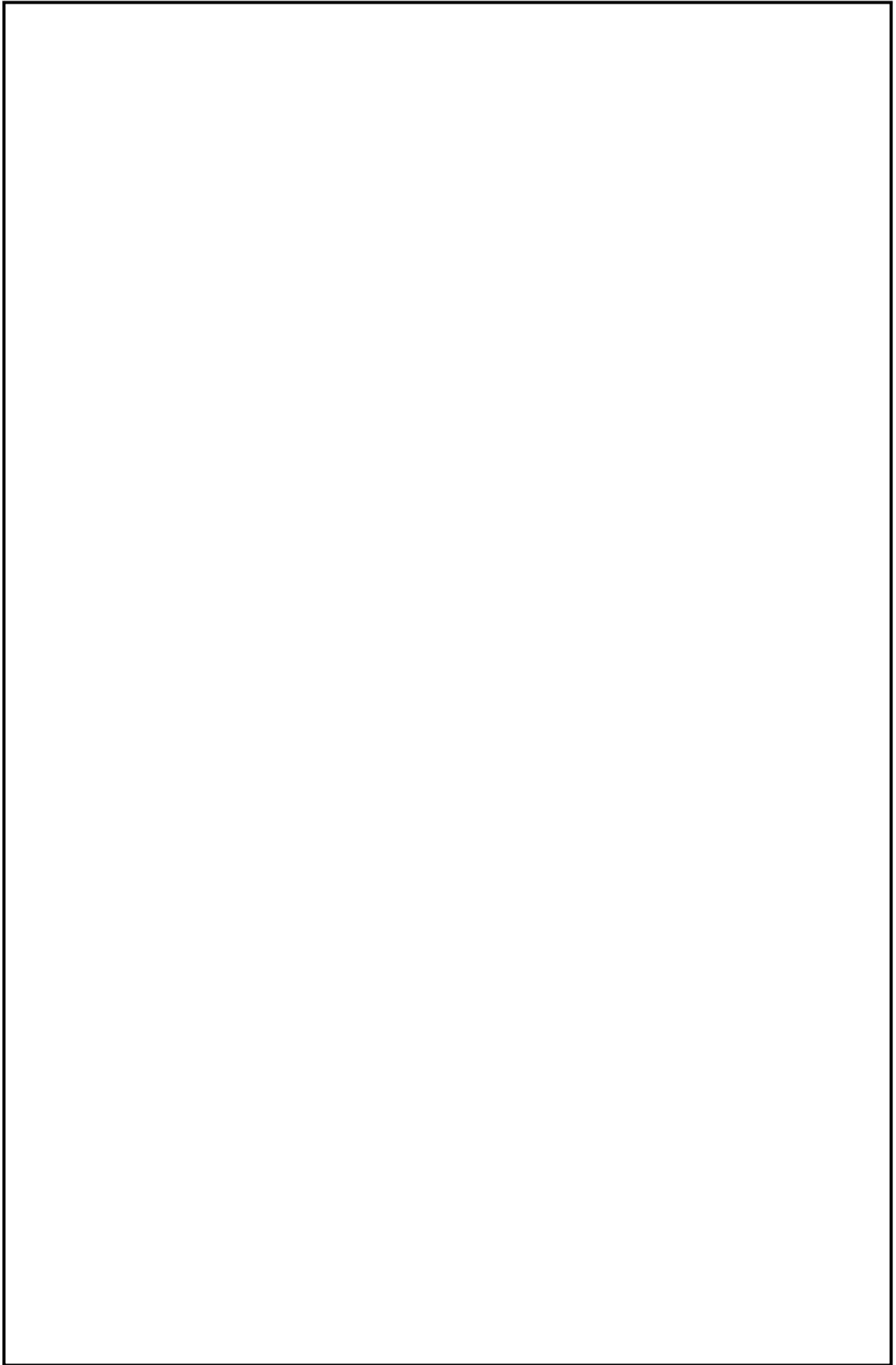


図5 バスケット構造図 (2/3)

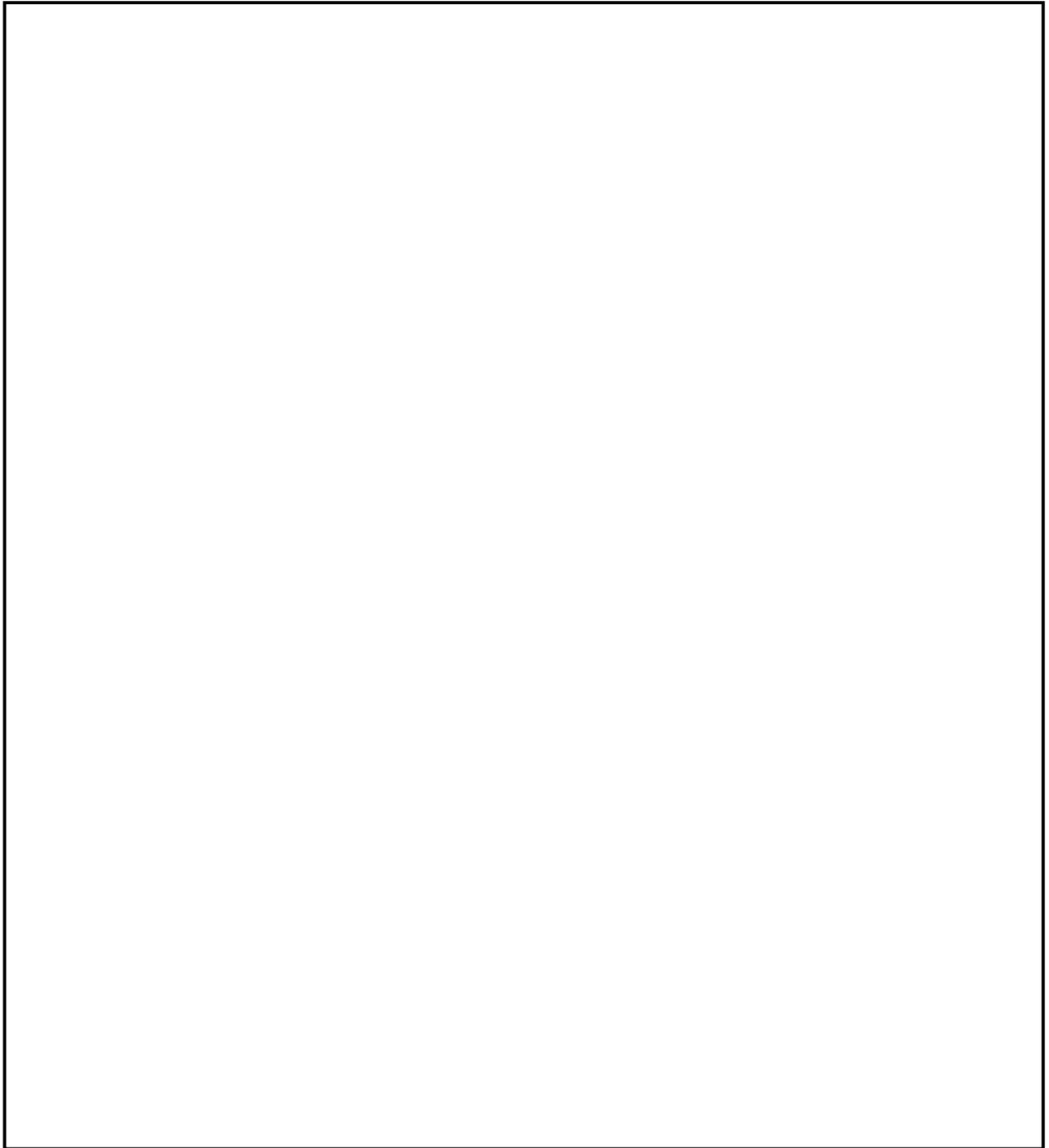


図6 バスケット構造図 (3/3)

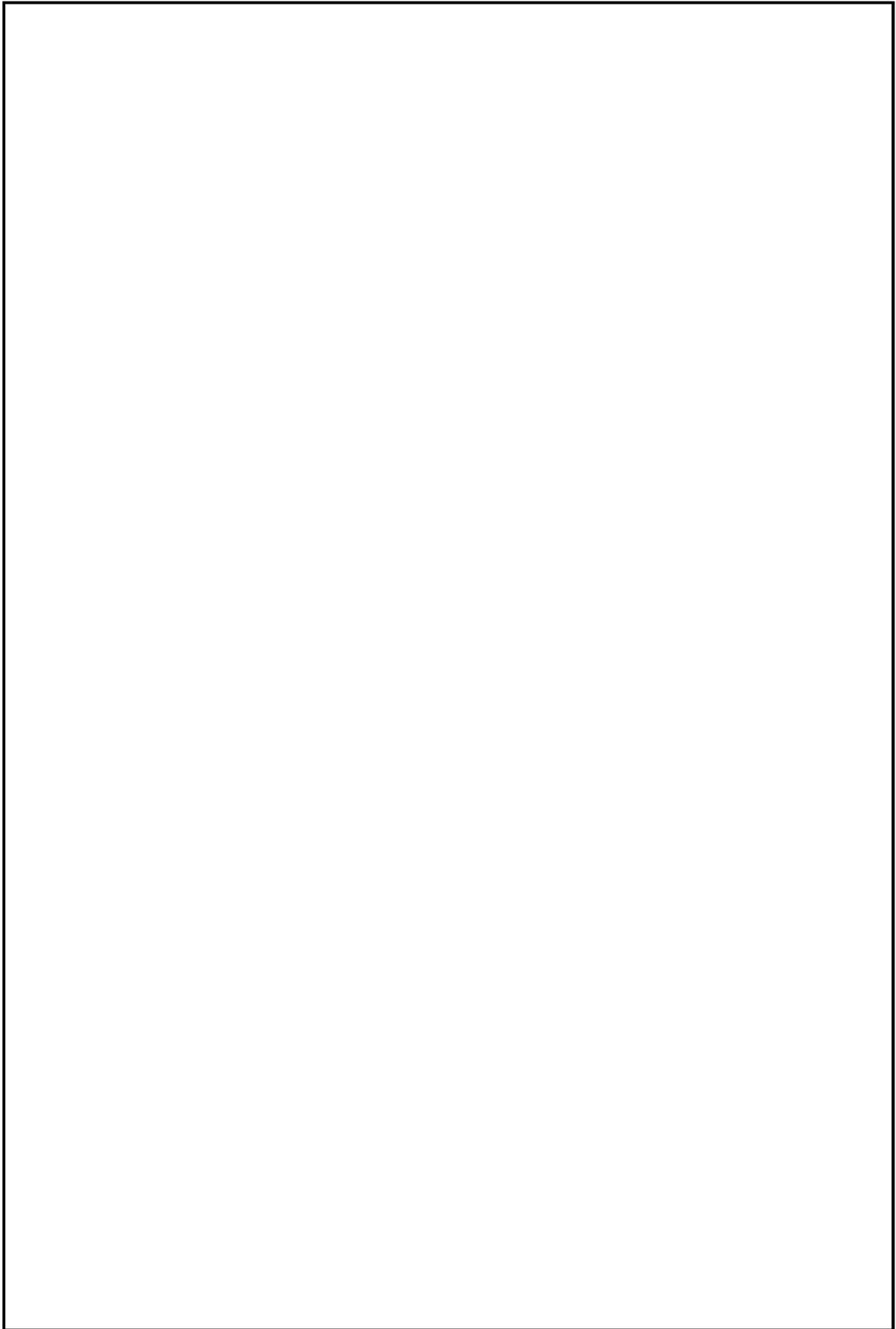


図7 バスケットイメージ (1/3)

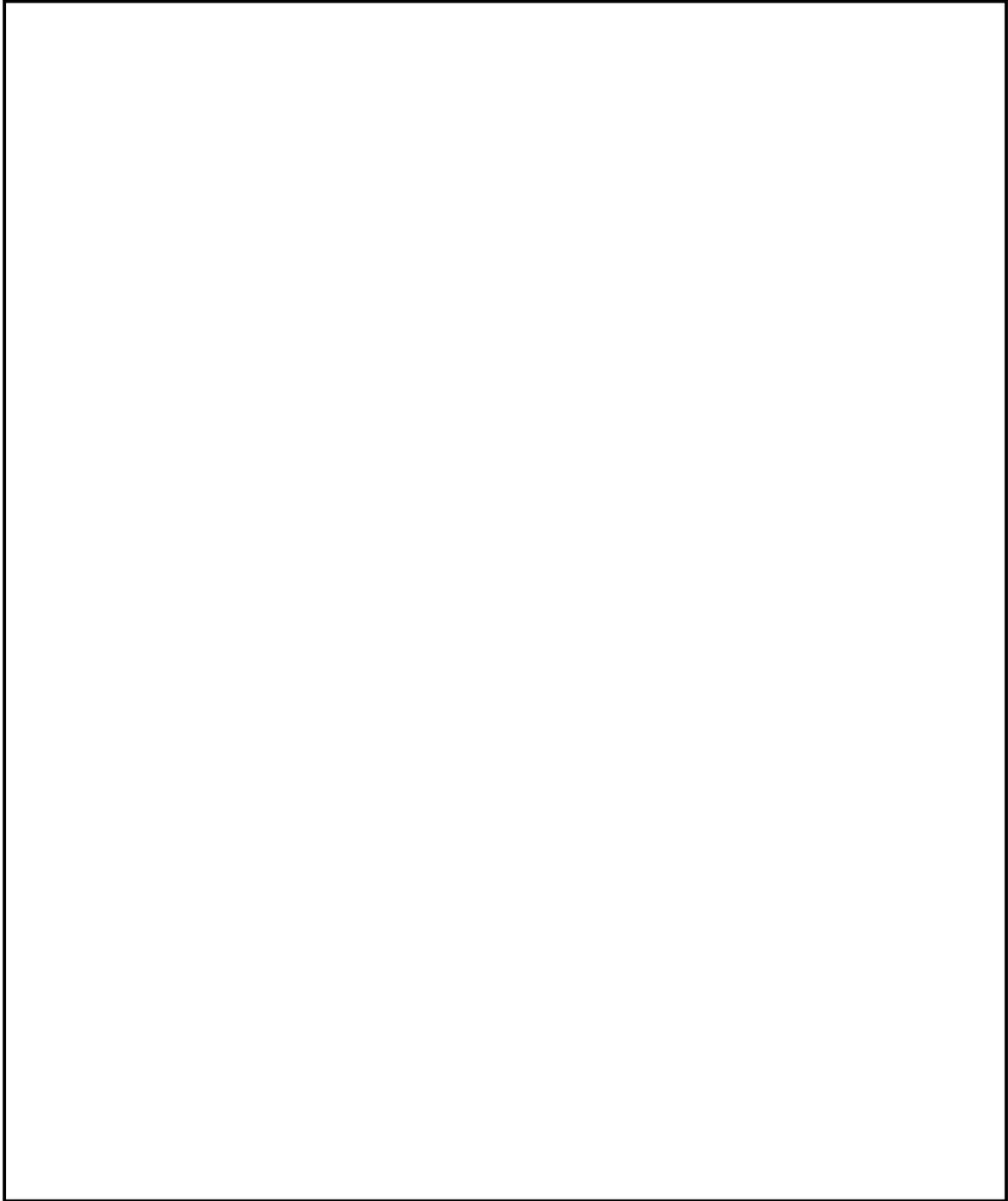


図 8 バスケットイメージ (2/3)

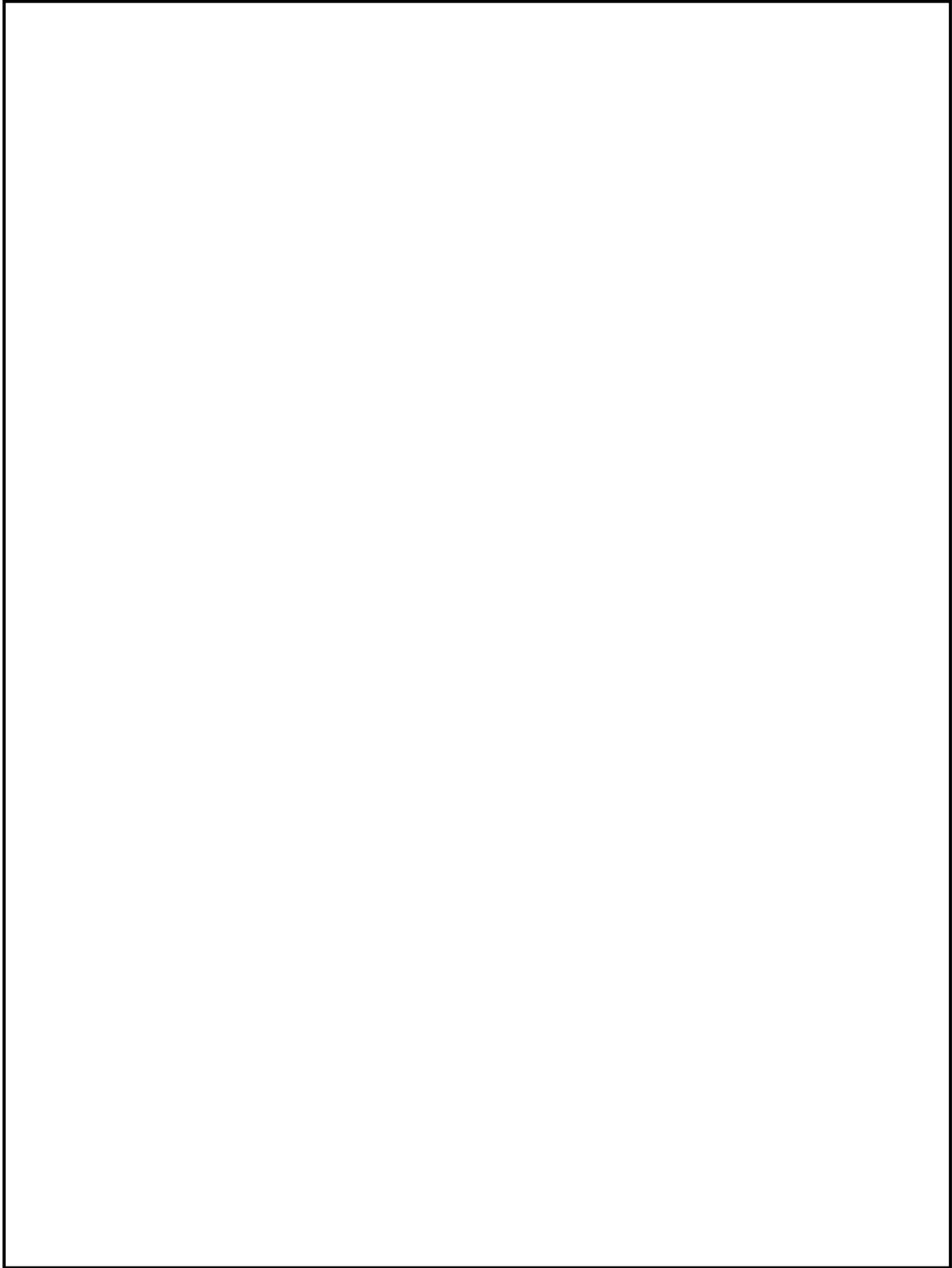


図9 バスケットイメージ (3/3)

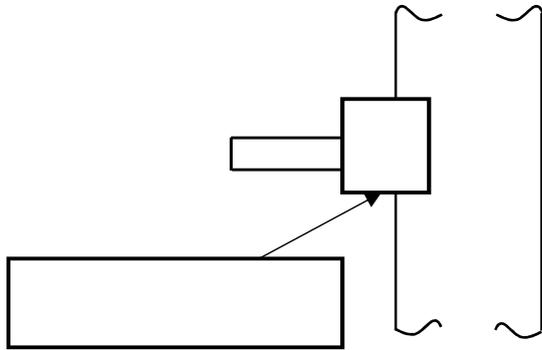


図 10 サポートプレートの取り付け方法

6. []の強度

サポートプレートを連結する []は、 []として構造維持に寄与しており、解析に使用した []は、図 11 に示す解析モデルを用い、図 12 に示す []の X 方向離れ量の解析結果から導出した。

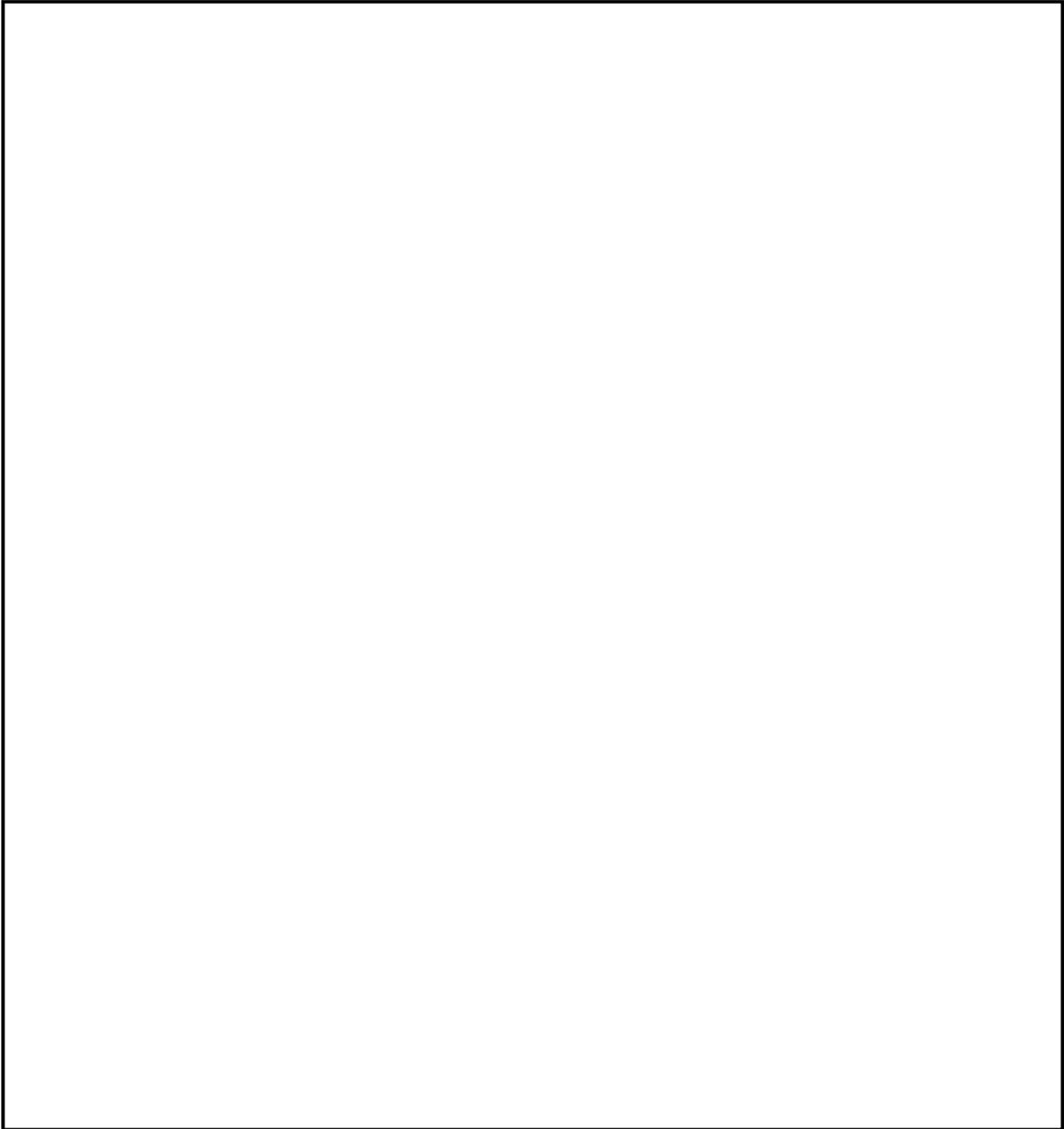


図 11 []解析モデル

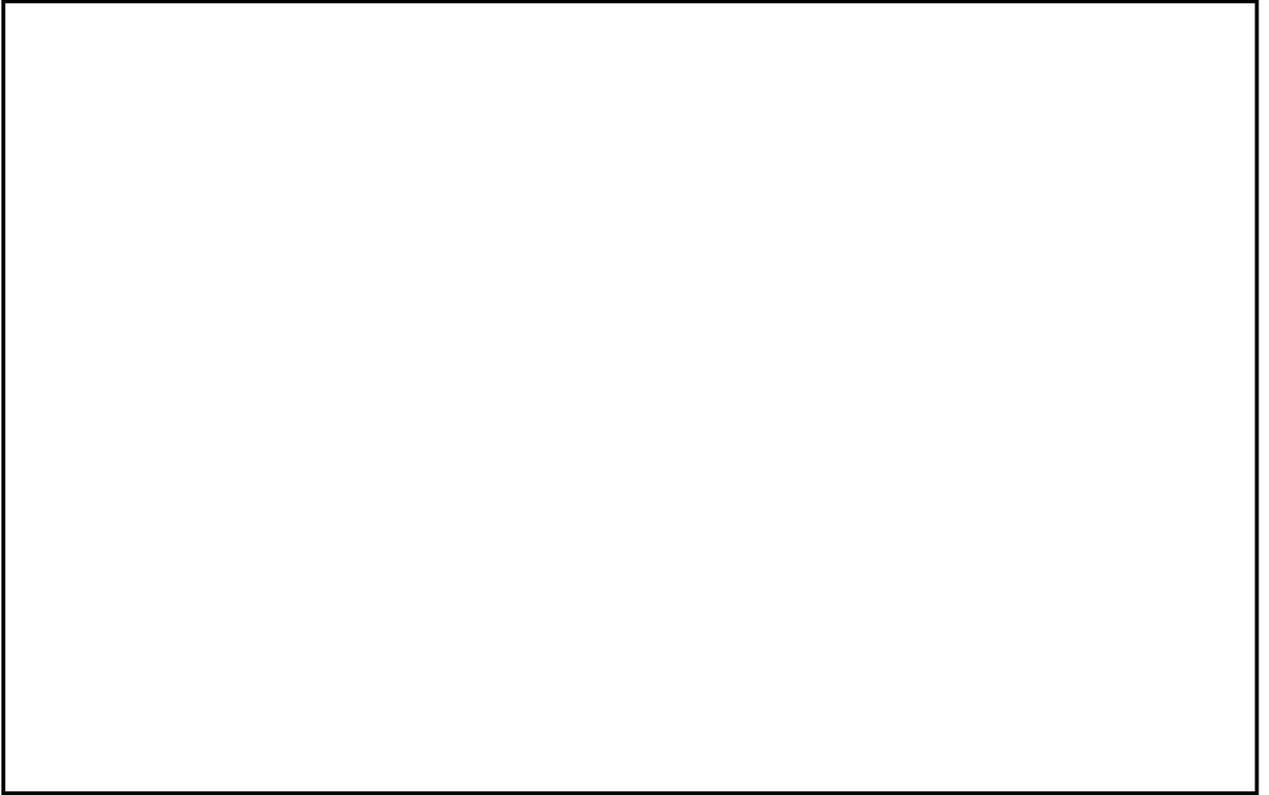


図 12 [] X 方向相対変位履歴

[] のバネ要素としてのふるまいとして、バスケットの衝撃加速度約 [] (9 m 水平落下相当) 及び約 [] (0.3m 水平落下相当) の結果を図 12 に示す。

バネ要素の挙動は単純な比例関係とはならないと推測されるが、9 m 落下相当の加速度に対しても [] は弾性範囲内の挙動を示し、十分裕度があることから、地震荷重 (水平加速度 1.4G) に対してもバネとして十分な強度を持つと考えられる。

9 m 落下相当の事象では、解析結果から、サポートプレートがばらける方向にも変形しており、その周方向に働く力に対して、 [] はバネの作用をするものとする。一方、地震荷重による加速度は 9m 落下相当に比べて十分小さいことから、クランプの変形はほとんど生じない、つまり周方向の負荷はほとんど生じないことが予想される。

[] への負荷は小さく、さらに十分剛性があることから、 [] の評価を省略する。