

# 論文 RC 構造物におけるエキスパンションジョイントの必要間隔と最大応答変位の関係

室重行\*<sup>1</sup>・向井智久\*<sup>2</sup>・野村設郎\*<sup>3</sup>

**要旨:** 明確に規定されていないエキスパンションジョイント (*Exp.J*) の必要間隔を地震時に衝突しない最小間隔と定義する。低層部・高層部からなる純ラーメンRC構造物に設置する*Exp.J* 必要間隔を最大応答変位から適切に算出するために、接触タイプを3タイプに分類し、そのタイプ別に*Exp.J* 必要間隔と最大応答変位の関係について検討を行った。その結果、タイプごとに低層部の最大応答変位、高層部の最大応答変位または低層部と高層部の両者の最大応答変位から*Exp.J* 必要間隔の算出方法を示した。

**キーワード:** エクスパンションジョイント, 最大応答変位, 接触タイプ, RC 純ラーメン構造

## 1. はじめに

今日、地震時の応答が異なる建物を組み合わせて建物を一体化させることが増えてきた。通例の設計時において個々の建物の挙動が異なることにより、建物に障害を発生させることを防止する方法としてエキスパンションジョイント (以下 *Exp.J*) を設け、応力集中を防いでいる。しかし、その *Exp.J* の間隔は明確に規定されていない。*Exp.J* の間隔を小さく見積もった建物は、地震時に建物の衝突が起きる場合がある。実際、兵庫県南部地震時に間隔の小さな *Exp.J* を介した建物同士の衝突被害が多く見られた。衝突のエネルギー吸収により、建物の全体的な被害が軽減される可能性もあるが、*Exp.J* はそれを意図して設計されていないため、本研究では建物の衝突を防ぐという立場から *Exp.J* 必要間隔を考察する。

対象とする建物は図 1 に示すように *Exp.J* を有する低層部・高層部からなり、梁降伏型全体降伏機構の純ラーメン建物である。地震時に衝突しない最小間隔を *Exp.J* 必要間隔とし、その間隔を地震応答解析によって算出する。

*Exp.J* 必要間隔と最大応答変位の関係を把握するために、算出した間隔を以下に示す(1)から(3)項目までの検討を行う。

- (1) 低層部もしくは高層部、または両者の最大応答変位との関係を検討するために接触タイプを3つに分類し、地震波特性によるそのタイプ別の傾向の検討を行う。
- (2) (1)で行った接触タイプ別に、*Exp.J* 設置方向の最大応答変位と *Exp.J* 必要間隔の関係の検討を行う。
- (3) (2)で算出した *Exp.J* 設置方向を考慮した最大応答変位の算出は困難なため、「*Exp.J* 設置方向の最大応答変位と最大応答変位の関係」についても検討を行う。

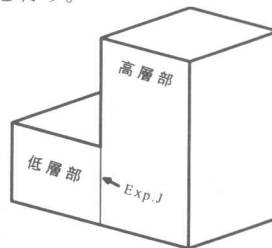


図1 対象建物

\* 1 東京理科大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (正会員)  
 \* 2 東京理科大学助手 理工学部建築学科 工修  
 \* 3 東京理科大学教授 理工学部建築学科 工博 (正会員)

## 2. 建物モデル化

対象となる建物は、図1に示すように *Exp.J* を有する低層・高層からなる形状の建物で、低層部・高層部が 5・10・15 層の梁降伏型全体降伏機構の純ラーメン RC 建物とする。低層部・高層部の解析モデルは、図2に示す「キの字型モデル」とした。部材は、材端剛塑性バネ法<sup>1)</sup>でモデル化する。部材寸法等は実際に設計された建物を参考にし、値を決定した(表1)。

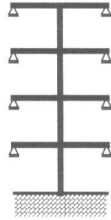


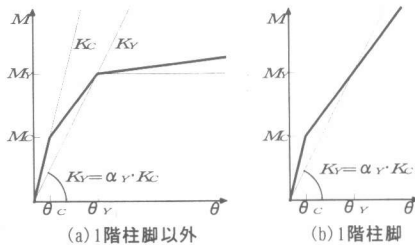
図2 建物モデル

表1 部材寸法と材料強度

階	柱寸法		梁寸法		使用鉄筋		コンクリート強度	
	階	B×D	FL	B×D	柱主筋	梁主筋	階	F <sub>c</sub>
5層	3~5	75×75	5~R	40×70	SD390	SD345	3~5	27.0
	1~2	80×80	2~4	40×75			1~2	30.0
10層	8~10	75×75	9~R	45×75	SD390	SD390	8~10	27.0
	5~7	80×80	6~8	45×80			5~7	30.0
	1~4	85×85	2~5	50×80			1~4	33.0
	13~15	75×75	14~R	45×75			13~15	27.0
15層	9~12	80×80	10~13	45×80	SD390	SD390	9~12	30.0
	5~8	85×85	6~9	50×80			5~8	33.0
	1~4	90×90	2~5	50×85			1~4	36.0

階高: 300cm λ<sup>\*</sup>: 600cm 各階重量: 396kN (最上階360kN)  
単位: 長さ(cm), 強度(N/mm<sup>2</sup>)

復元力特性は *Degrading tri-linear* 型を用いる。スケルトンカーブは、梁降伏型全体降伏機構を想定するため、1階柱脚以外は図3(a)、1階柱脚は図3(b)を採用する。ここでのひび割れモーメント  $M_c$  は、式1・式2によって算出する。降伏モーメント  $M_y$  については、ベースシア係数を0.3とし、 $A_i$  分布による層せん断力分布を設定した線形解析を行い、このときに得られる耐力と最低主筋量により算定した曲げ耐力(式3・式4より算出)の結果



(a) 1階柱脚以外  
 $M_c$ : 曲げひび割れモーメント  
 $M_y$ : 曲げ降伏モーメント  
 $K_c$ : 部材初期剛性  $\alpha_y$ : 降伏時剛性低下率  
 $K_y$ : 部材降伏時剛性

図3 スケルトンカーブ

を比較し、大きい方を部材の曲げ耐力とする。

$$\text{梁: } M_c = 0.56\sqrt{F_c} \times Z \quad (\text{式1})$$

$$\text{柱: } M_c = 0.56\sqrt{F_c} \times Z + N \cdot D / 6 \quad (\text{式2})$$

$$\text{梁: } M_y = 0.9a_t \cdot \sigma_y \cdot d \quad (\text{式3})$$

$$1 \text{ 階柱脚: } M_y$$

$$= 0.8a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5N \cdot D \quad (1 - N / (b \cdot D \cdot F_c))$$

$$(N / bD \leq 0.4F_c \text{ のとき})$$

$$= 0.8a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.12b \cdot D^2 \cdot F_c$$

$$(N / bD > 0.4F_c \text{ のとき})$$

$$(\text{式4})$$

$F_c$ : コンクリート強度  $Z$ : 断面係数  
 $N$ : 軸力  $D$ : 部材せい  $a_t$ : 引張鉄筋断面積  
 $\sigma_y$ : 鉄筋強度  $d$ : 梁の有効せい

1次固有周期は表1の条件を用いて行った固有値解析によって求められる値を使用した。

また、部材の耐力は部材のフェイス位置で算出を行っている。減衰は瞬間剛性比例型で、減衰定数は弾性1次モードに対し3%とした。数値積分はニューマークβ法( $\beta=1/4$ )を用い、刻み時間を0.001秒とした。

基礎のロッキングが本研究で想定する建物の *Exp.J* の間隔に与える影響は小さいため、その影響を無視して解析を行った<sup>2)</sup>。

## 3. 入力地震波

入力波はKOBÉ, ElCentro, Taftの3波を使用する。入力波の最大速度による傾向を把握するために、各地震波を25kine, 50kineに規準化したもの(レベル1・レベル2と定義する)も使用した。使用した地震波の一覧を表2に示す。

表2 入力地震波

地震波呼称	名称	観測年	観測地点	成分	最大加速度 (gal)
KOBENS	兵庫県南部	1995	神戸海洋気象台	NS	818
KOBENS.LV1	—	—	—	—	246
KOBENS.LV2	—	—	—	—	493
ELNS	Imperial Valley	1940	El Centro	NS	342
ELNS.LV1	—	—	—	—	256
ELNS.LV2	—	—	—	—	511
TAFTEW	Kern Country	1952	Taft	EW	176
TAFTEW.LV1	—	—	—	—	248
TAFTEW.LV2	—	—	—	—	497

#### 4. Exp. J 必要間隔の定義

本研究の *Exp. J* 必要間隔は、低層部と高層部が衝突しない最小間隔とする。よって、図 4 のように各々の時刻歴応答を算出し、その両者を接触するまで近づけることによって *Exp. J* 必要間隔を算出する。また、*Exp. J* 必要間隔の算出時において、建物配置を入れ替えた場合(図 5)、正負の応答が異なるため、*Exp. J* 必要間隔にも差が生じると考えられる。よって、この建物配置を入れ替えた場合も考慮し、*Exp. J* 間隔を算出する。

この建物の入れ替えも考慮し、高さのパラメータが 3 通りあり、1 地震波につき *Exp. J* 必要間隔は 6 通り算出される。入力地震波が 9 波より *Exp. J* 必要間隔は合計 54 である。

本研究では、*Exp. J* 必要間隔を変形角で示すことがあるが、変形角で示した場合は「*Exp. J* 必要間隔/低層部高さ  $h$ (図 5)」の値である。

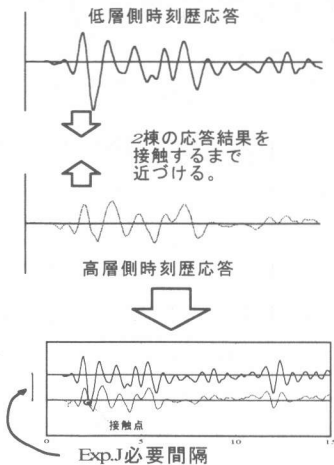


図 4 *Exp. J* 必要間隔の算出法

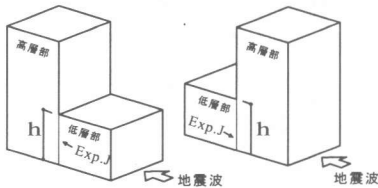


図 5 建物を入れ替えた場合

#### 5. 応答解析結果および考察

##### i) *Exp. J* 必要間隔の地震波による傾向

図 6 に、使用した地震波による *Exp. J* 必要間隔を変形角(1/1000rad.)で示す。横軸に地震波名を、縦軸に *Exp. J* 必要間隔の算出結果を示す。図 6 は入力波を縦線によって分けているが、太線によって KOBE, ElCentro, Taft の地震波別に分け、細線によって各々の地震波の最大速度別に分けている。また、図中には各々の入力波最大速度の大きい順に並べている。建物高さについての違いは、色分けで行った。図中で 1 つの入力地震波に付き 2 通りの対象建物が図示されているが、これは建物配置を入れ替えた両者(図 5)を示しているからである。

図 6 より、同地震波に対して入力波最大速度が大きくなるにしたがって、*Exp. J* 必要間隔が大きくなっていくことが分かる。規準化した各々地震波の LEVEL1, LEVEL2 のそれぞれを比較すると、*Exp. J* 必要間隔の大きさは Taft, ElCentro, KOBE の順に大きい。したがって、同じ入力最大速度で規準化した入力波でも *Exp. J* 必要間隔も異なり、入力波最大速度以外の地震波の特性が *Exp. J* 必要間隔に関係することが把握でき、*Exp. J* の間隔算出時に幾つかの地震波による検討が必要なることも分かる。建物配置を入れ替えた場合に注目すると、特に KOBE.LV2 のように、入れ替えによって *Exp. J* 必要間隔に差が生じていることが分かる。

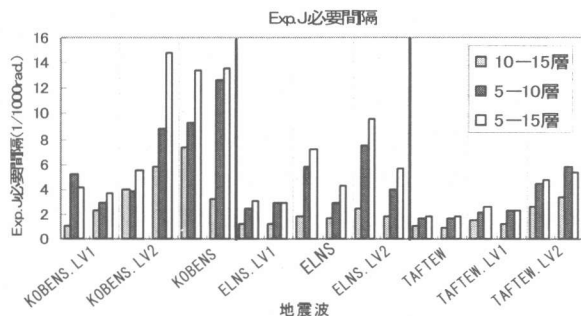


図 6 *Exp. J* 必要間隔

現行の *Exp. J* 間隔の算出方法は幾つかあるが、筆者らは設計限界変形角を 1/100rad. と想定しているため、低層部・高層部を考える

Exp.J 間隔は 1/50rad. としていた。しかし、KOBENS で算出された Exp.J 必要間隔の 14.8/1000rad. (1/68rad.) が最大の値であり、本研究におけるパラメータにおいては、1/68rad. を設けておけば衝突を避けることができ、Taft, ElCentro を設計用地震波として想定した場合においてはさらなる間隔の減少ができる。

## ii) 接触タイプの分類と接触階層

ここでは、低層部もしくは高層部、または両者の最大応答変位との関係を検討するために接触タイプを3つに分類し、接触タイプについて検討する。

接触タイプは、図7のようにTYPE-Aを低層部、高層部が互いに接近しあい片方が正方向、もう片方は負の方向に振れた状態で寄り接触するタイプ、TYPE-Bを両者が同位相で振れ、低層部が高層部に寄り接触するタイプ、TYPE-CをTYPE-Bと同様に振れ高層部が低層部に寄り接触するタイプと定義する。図7には記していないが、i)と同様に建物の配置を入れ替えた場合も検討している。



図7 接触タイプ

表2で示した地震波から求まる Exp.J 必要間隔 (54通り) を接触タイプ別に分けた結果を表3に示す。TYPE-Cは1つしかなく、このタイプは少ないことが分かる。また、TYPE-CよりTYPE-Bが多いのは、高層部の中間階の応答変位より低層部の最上階の応答変位が大きいからと考えられる。

表3 接触タイプの統計

TYPE A	TYPE B	TYPE C
29	24	1

図8は表3同様に全地震波54つで各タイプが何通りあったかの個数を表す。横軸に地震

波を、縦軸に個数を図示している。図8も縦線によって地震波を分けているが、図6と同様に太線によってKOBE, ElCentro, Taftの地震波別に分け、細線によって各々の地震波の最大速度別に分けている。Taftによる地震波は他の地震波と異なる傾向を有しTYPE-Aが多い結果となり、全地震波で同じ傾向は見られなかった。よって、接触タイプには入力地震波特性による影響もあることが分かる。しかし、図8でその傾向を詳細に把握することができない。そこで、より詳細に地震波特性による傾向を把握するために接触タイプを再分類する。

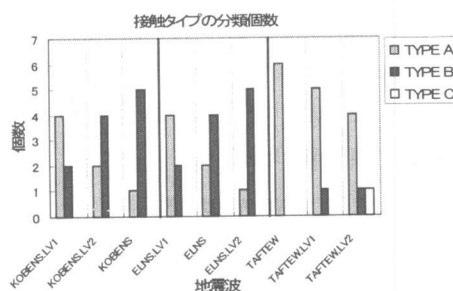


図8 地震波による接触タイプの個数

TYPE-Aでも実際にはTYPE-Bに近いタイプ、またはTYPE-Cに近いタイプの2通り考えられる。図9に示すように、接触時における低層部の応答変位が Exp.J 必要間隔の9割を占め、TYPE-Bに近いタイプをTYPE-BB (TYPE-Bを含む) とする。逆に、高層部が Exp.J 必要間隔の9割を占める場合をTYPE-CC (TYPE-Cを含む) とする。TYPE-BB, TYPE-CC以外をTYPE-AAとする。

再分類した接触タイプの地震波による傾向の結果を図10に示す。縦軸・横軸は、図8と同じである。同地震波において入力波最大速度が大きくなると、TYPE-AAが少なくなり、その分TYPE-BBが増加する傾向が把握できる。TYPE-BB・TYPE-CCにおける Exp.J 必要間隔は、低層部・高層部の両者の応答変位が影響するのではなく、TYPE-BBは低層部、

TYPE-CC は高層部の応答変位のみが大きく影響し、そのいずれか一方の応答変位によって *Exp. J* 必要間隔が決定することになる。したがって、入力波最大速度が大きくなるほど、*Exp. J* 必要間隔が低層部または高層部の応答変位のみで決定する傾向がある。また、TYPE-BB が TYPE-CC よりはるかに多いことから、入力波最大速度が大きくなると、*Exp. J* 必要間隔は低層部の応答変位で決まる傾向があることが分かる。

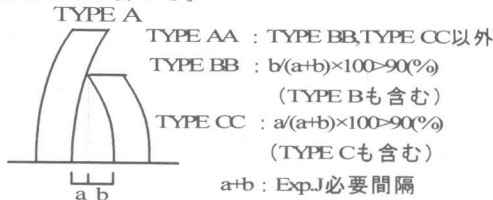


図9 タイプの再分類接触

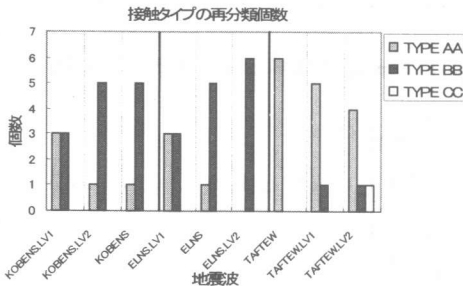


図10 地震波別による再分類の個数

次に、接触層について述べる。表4に接触層の統計を示す。トップで接触とは、低層部の最上階で接触する場合である。トップ以外で接触とは、低層部の最上階以外で接触する場合である。表4に示すように、必ず最上階で接触するとは限らないことが把握できるが、その数は少なく、本研究で想定したような1次モードが卓越する建物においてはほぼ低層部の最上階で接触すると考えられる。したがって、低層部の最上層位置における高層部と低層部の応答変位だけに注目し、*Exp. J* 必要間隔を算出すればよいことが分かる

トップで接触	トップ以外で接触
50	4

### iii) *Exp. J* 設置方向の最大応答変位と

#### *Exp. J* 必要間隔

本研究の目的として最大応答変位と *Exp. J* 必要間隔の関係を検討するが、*Exp. J* 必要間隔の算出時には接触方向を考慮しなければならない。そこで、ここでは ii) で行った再分類した接触タイプごとに *Exp. J* 設置方向を図11のように定義し、再分類した接触タイプ別に *Exp. J* 設置方向の最大応答変位と *Exp. J* 必要間隔の関係について検討する。

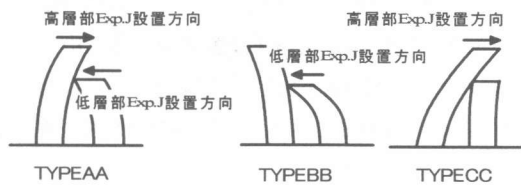


図11 *Exp. J* 設置方向

まず TYPE-AA について、図12は縦軸に TYPE-AA における「*Exp. J* 必要間隔/ *Exp. J* 設置方向における低層部と高層部の最大応答変位の和」の割合を、横軸に建物高さについて示している。全体として、平均で 34.9% であった。このことから *Exp. J* 必要間隔は *Exp. J* 設置方向の最大応答変位の和から大きく減少させることができることが分かる。

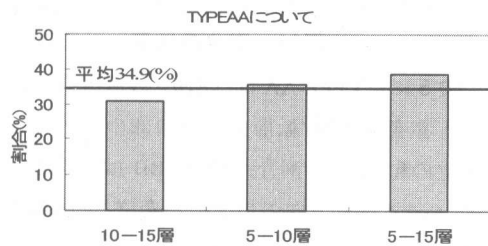


図12 *Exp. J* 必要間隔と *Exp. J* 設置方向の最大応答変位の和との関係

次に、TYPE-BB と TYPE-CC は *Exp. J* 必要間隔が一方の応答変位で決定するため、低層部・高層部のいずれか一方の応答変位について検討する。図13では使用した全地震波について、縦軸に「*Exp. J* 必要間隔/高層側の *Exp. J* 設置方向の最大応答変位」を横軸に「*Exp. J* 必要間隔/低層側の *Exp. J* 設置方向の最大応答変位」を縦軸に示している。

答変位」を示す。

TYPE-BB は低層部の *Exp.J* 設置方向の応答変位で *Exp.J* 必要間隔が決定するが、図 13 より低層部の割合 (図中○) が 50%

から 100% 近くまで分布している。特に、100% 近くに多く分布している。よって、TYPE-BB の場合は低層部の *Exp.J* 設置方向の最大応答変位で *Exp.J* 間隔が決定する 경우가多いことが分かる。TYPE-CC は 1 つしかないため、傾向は見られない。

#### iv) *Exp.J* 設置方向の最大応答変位と

##### 最大応答変位の関係

*Exp.J* 設置方向の最大応答変位予測は困難である。よって、ここでは iii) で検討した *Exp.J* 設置方向の最大応答変位と最大応答変位 (図 14) の比較を行う。

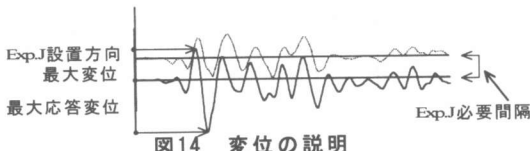


図 14 変位の説明

表 5 に、TYPE-AA は「*Exp.J* 設置方向の最大応答変位の和/低層部と高層部の最大応答変位の和 (%)」の割合、TYPE-BB は「低層部の *Exp.J* 設置方向の最大応答変位/低層部の最大応答変位 (%)」の割合、TYPE-CC は「高層部の接触時方向の最大応答変位/高層部の最大応答変位 (%)」の割合を示す。表 5 より、*Exp.J* 設置方向の最大応答変位に最大応答変位を用いて算出することができ、その方法はおおよそ妥当であると考えられる。

表 5 *Exp.J* 設置方向の最大応答変位と最大応答変位

TYPE AA	TYPE BB	TYPE CC
90.6(%)	87.6(%)	100.0(%)

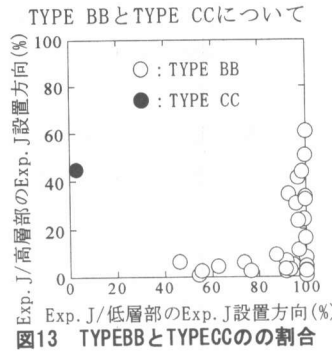


図 13 TYPEBBとTYPECCの割合

#### v) *Exp.J* 必要間隔と最大応答変位の関係

ここでは、ii) から iv) から得られた検討結果よりタイプ別に *Exp.J* 必要間隔と最大応答変位の関係について示す。

TYPE-AA の *Exp.J* 必要間隔は低層部・高層部の最大応答変位の和から大きく減少させて求めることができる。TYPE-BB は地震波の最大速度が大きくなると現れやすいタイプであり、低層部の最大応答変位が *Exp.J* 必要間隔となる。TYPE-CC が現れるタイプはまれであり、その傾向は把握できなかった。以上の結果を図示すると図 15 のようになる。

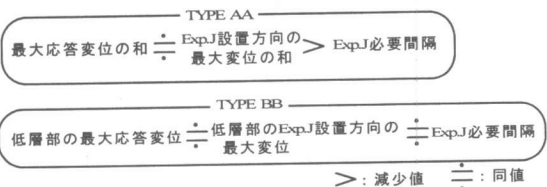


図 15 *Exp.J* 必要間隔と最大応答変位の関係

## 6. まとめ

建物高さの異なる純ラーメン RC 建造物の *Exp.J* 必要間隔を算出し、その算出結果から接触タイプを 3 つに分類し、低層部の最大応答変位または高層部の低層部最上階の最大応答変位と *Exp.J* 必要間隔について検討した。そして、各タイプ別に最大応答変位からの *Exp.J* 必要間隔の算出方法を検討した。その結果、本研究で想定した建物においては以下の結論を得た。

- ・TYPE-AA の *Exp.J* 必要間隔は、低層部最上階の低層部・高層部の最大応答変位の和から大きく減少した値を用いて求めることができる。
- ・TYPE-BB は低層部の最大応答変位が *Exp.J* 必要間隔となる。

## 7. 参考文献

- 1) 柴田明徳著：最新耐震構造解析，森北出版社
- 2) 室重行，宮澤憲一，野村設郎：大地震を想定したエキスパンションジョイントの必要間隔，1999 年日本建築学会梗概集，B-2 分冊，p. 543・544