110 mの高さに掛かる高層ビル間ブリッジの設計と開発

DESIGN AND DEVELOPMENT OF 110 METER HIGH BRIDGE BETWEEN TWO HIGHRISE BUILDINGS

北村春幸 — *1 寺本隆幸 — *3 藤田隆史 — *5
山崎 淳 — *2 飯田仲男 — *4

Haruyuki KITAMURA
Jun YAMAZAKI

Takayuki TERAMOTO
Tsugio HIDA

Takafumi FUJITA

The office tower (200 meters high) and the residential tower (140 meters high) are connected by the Bridge at a level of 110 meters above the ground.

Difficulties of bridging two individual buildings in higher stories are :

1) the bridge has to withstand large wind load or seismic load and
2) large changes in the distance between two buildings are expected due to seismic action. In order to solve these problems, following measures in structural design have been introduced.

1) The structure of the bridge is a tube structure. The one end is designed as a pin support and the other as a pin-roller support. The pin-roller support allows 2 meters displacements.

2) The floor panel is divided into 10 segments, which are supported by a horizontal pantograph system. Each displacement of the units became one ninth of the total.

3) The expansion joints between the floor pannel segments are finger shaped and a flat joint system has been realized. Consequently, a safe corridor between the two highrise buildings has been realized.

キーワード:

超高層建物, 2 棟間連絡歩道橋, ピンローラ支承, 変位分散, パンタグラフ機構

Keywords:

Highrise building, Bridge between 2 buildings, Pin and rollersupports, Dispersion of displacement, Pantograph mechanism

1. はじめに

聖路加タワーにおいては、高さ200mの鉄骨造建物と高さ140mの鉄骨鉄筋コンクリート造建物を、地上約 110m位置で歩行者連絡用ブリッジにより接続した。ブリッジの建築計画上の効果として、火災時に隣棟避難が可能になり、安全性が向上する。高層階で往来が可能になり、建物の機能性が向上する。特徴あるスカイラインが形成され、シンボリックな外観が強調されることなどがあげられる。

このような高層ブリッジの設計の難しさは、強風時や地震時に大きな風圧力や地震力が加わることに加え、ブリッジの支点間距離が大きく変動することにある。それらの問題点を解決する方策として、ブリッジ構造体は剛性・耐力に優れたチューブ構造を採用した。支点間距離の変動に対しては構造体は一端をピン支持、他端をピンローラ支持する方法で、また歩行床については構造体と分離し、10個程度に分割したものをパンタグラフ機構で接続し、各歩行床間を均等な小さな変位に分散する方法を提案した。

各歩行床間の接合部は、櫛歯状のフィンガーで接続し、段差のないエキスパンションジョイントを実現した。これらの工夫により、安全な歩行が確保できた。

本報告は、設計的な視点に基づき、地上約 110mの位置において2棟の高層建物間を連絡する高層ブリッジの主に構造安全性に関する

図-1 建物全景

る問題点の抽出、解決策の提案とその設計、性能確認実験について報告するものである。

*1 (株)日建設計東京本社構造部 博士 (工学)
(〒112 文京区後楽2-1-2)

*2 (株)日建設計東京本社監理部

*3 (株)日建設計東京本社 構造設計室長・工博

*4 住友金属工業(株)建築鉄構部 課長

*5 東京大学生産技術研究所 教授・工博

*1 Structural Eng., Dept., NIKKEN SEKKEI, Dr. Eng.

*2 Construction Contract Administration Dept., NIKKEN SEKKEI

*3 Chief Structural Eng., NIKKEN SEKKEI, Dr. Eng.

*4 Manager, Building Steel Structure Dept., Sumitomo Metal Ind.

*5 Prof., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

2. 計画概要

聖路加国際病院再開発計画第三街区は、事務所・ケアレジデンス（共同住宅）・宿泊施設（ホテル）・ヘルスフォーラム（アスレチッククラブ）・利便施設（店舗）などにより構成される、2棟の超高層タワーからなる複合建築物である。複合建築の設計では、様々な用途を含む複数の建物を個別に計画するのではなく、関連性をもたせた結びつきを積極的につくることで、より魅力的で機能的な計画とすることができる。オフィス棟とレジデンス棟の2棟の超高層ビルを別々のタワーとしてデザインするのではなくツインタワーとし、足元にアトリウムを設け、さらに高層ブリッジで接続することで、計画条件を最大限に生かせると考えた。

ブリッジの効果として次のようなことがあげられる。

①安全性の向上

火災時にブリッジを使い、一方から他方へ避難すること（隣棟避難）ができ、また消防隊が隣棟から侵入できるので、オフィス棟とレジデンス棟の安全性が増す。

②機能性の向上

オフィス棟の28階（エレベータ乗換階）とレジデンス棟の32階（レストラン、ラウンジ階）が直接結ばれ、オフィス棟にとってはレストラン等が使いやすく、レジデンス棟にとっては利用客が増す。

③シンボル性

2つの超高層ビルがブリッジで結ばれることで、シンボリックな外観が強調され、聖路加タワーとして特徴のあるスカイラインを形成する。

〔建物概要〕

建 物 名 称	聖路加国際病院再開発計画第3街区 (オフィス棟・レジデンス棟)		
建 築 場 所	東京都中央区明石町8番地		
建 築 主	三井不動産、日本生命、東急不動産、 松下興産、藤和不動産		
財 団 法 人	聖路加国際病院		
設 計 監 理	日建設計・東急コンサルタント（外装及び構造設計を除くレジデンス棟の設計）		
施 工 者	鹿島・大成・大林・清水・前田JV		
階 数	オフィス棟	地下4階、地上47階、塔屋4階	
	レジデンス棟	地下3階、地上38階、塔屋1階	
最高部高さ	オフィス棟	GL+199.930m	
	レジデンス棟	GL+146.125m	
基礎深さ	オフィス棟	GL-23.420m	
	レジデンス棟	GL-16.730m	
規準階階高	オフィス棟	3.900m	
	レジデンス棟	3.150m	
敷地面積	13,033.19㎡		
建築面積	9,298.60㎡		
延床面積	171,168.12㎡		
構造種別	オフィス棟	鉄骨造(2階以上) 鉄骨鉄筋コンクリート造(1,B1階) 鉄筋コンクリート造(B2階以下)

図-2 ブリッジ透視図

図-3 建物断面図

図-4 建物配置図

レジデンス棟 鉄骨鉄筋コンクリート造
(B1階以上)
鉄筋コンクリート造(B2階以下)

外 装 CFRC板 フッ素樹脂塗装(一部磁器質タイル貼)

[高層ブリッジ概要]

開 発 者: 日建設計・住友金属工業・

東京大学生産技術研究所 藤田隆史教授

位 置: オフィス棟28階(エレベータ第3, 第4バトン乗換階)

レジデンス棟32階(宿泊施設のトリウム・レストラン階)

高 さ: GL+約110m

幅 : 約4m(歩行部分約2m)

長 さ: 約24m(空中部分)

外 装: アルミパネル, 透明ガラス

本体構造: 鉄骨造(トラス構造)

支持方法: オフィス棟 ピン支持

レジデンス棟 ピンローラー支持

歩行床: 分割床(パンタグラフ機構)

図-5 ブリッジ設置階平面図

3. 構造設計上の要点

超高層ビルの高層階にブリッジを架けるための問題として、高層部に位置することにより地震時・強風時にブリッジの支点間距離が大きく変動すること、ブリッジに加わる風圧力と地震力が大きいことが考えられる。

このような問題点を解決するために次のような工夫をおこなった。

①安全性に優れたチューブ構造

ブリッジ構造体は、四周をトラス梁で構成するチューブ構造とし、歩行者に不快感や不安感を与えることのない十分な耐力と剛性を確保した。

②支点間距離の変動を吸収する支持方式

支点間距離の変動を吸収する支持方式として、ブリッジ構造体をオフィス棟側でピン支持し、レジデンス棟側でピンローラー支持する方式を採用した。

③構造体と歩行床を分離した二重構造

この支持方式では、2棟間の相対的な変位が、ピンローラー支持されたレジデンス棟の支持部に集中し、最大±2mのエキスパンションジョイントをつくる必要がある。その時に歩行者に与える心理的影響の大きさを考慮して、歩行床を構造体から分離し、その床に歩行性を確保する機構を組込むこととした。

④分割された伸縮する歩行床

2棟間の相対的な変位を歩行できる程度まで分散するために、歩行床を長さ方向に分割する。さらに変位を均等に分散するため、各床板をパンタグラフ機構でつなぎ、各床板の間のエキスパンションジョイントは、歯状のフィンガーをお互いに噛み合わせ段差が生じないようにした。

4. ブリッジ構造体の設計

ブリッジは2棟の超高層タワー間の、高さ100mの位置に設置されるため、大きな風圧力と地震力を受ける。従って、構造体の設計条件を次のように設定した。

①ブリッジ本体の構造は鉄骨造とし、十分な剛性と強度をもつも

図-6 高層ブリッジ概念図

図-7 ブリッジ構造体

図-8 ブリッジ平行方向の建物変位

のとする。特に、強風時の渦励振によるゆれを防ぎ、歩行者に不快感や不安感を与える歩行時の共振によるゆれを防ぐため、上下方向の1次固有振動数を5 Hz程度以上にする。

②設計用地震荷重として水平・上下方向共に1 Gの荷重を設定し、この荷重条件に対して構造体に生じる応力度を短期許容応力度以下とする。

③設計用風荷重は、再現期間 100年、高さ 200m位置の風速を基準とし、風洞実験で得られた風力係数を用いて、建築学会荷重指針に基づき算定する。

この荷重条件に対して構造体に生じる応力度を短期許容応力度以下にする。これらの条件を整理すると表-1 のようになる。図-7 にブリッジ構造体を示す。

表-1 地震・強風時の設計荷重

荷重方向	地震荷重	風 荷 重
前後方向	±140ton	
横 方 向	±123ton	±146ton
上下方向	自重±123ton	自重±130ton
合成 横 (横+上下)上下	±123ton 自重±123ton	±146ton 自重±130ton

図-9 ブリッジ直交方向の建物変位

図-10 床面の上下方向の変位

図-11 ブリッジ構造体を振るような床面変位

5. 支持機構の設計

高層建物の設計用最大地震時において、地上部と高層階の相対的な変位はその階の地上からの高さの1/100程度を設定しておけば十分と考えられる。高さ100m位置における高層ブリッジの設計許容変位は、それぞれの建物が前後左右に1m動くことを想定する必要がある。なお、地震応答解析による建物100m位置での最大変位は、オフィス棟で63cm、レジデンス棟で74cmであり、設計許容変位は、1.4倍の安全率を持つ。

強風時・地震時の建物の全体変形により、ブリッジ構造体に過度の応力を生じさせないためには、支持機構に強制的な変形を逃がす機構を組込む必要がある。

支持機構の設計条件を次のように設定した。

- ①ブリッジ平行方向の建物変位に対して、オフィス棟はピン支持、レジデンス棟はローラ支持とする。(図-8)
- ②ブリッジ直交方向への建物変位に対して、オフィス棟はピン支持、レジデンス棟はピンローラ支持とする。(図-9)
- ③建物の全体曲げ変形による床面の上下方向の変位に対しては、両端ともにピン支持とする。(図-10)
- ④建物の全体曲げ変形による床面の傾き（ブリッジ構造体を振るような床面の変位）に対しては、オフィス棟は剛支持、レジデンス棟は弾性支持とする。(図-11)
- ⑤建物がブリッジ構造体の許容変位を超える変位をした場合には、オフィス棟側のピン支承が切断され、ブリッジ構造体を上部に取り付けた吊り材により、建物本体から吊り下げる。この吊り材は、ブリッジ全体を吊り下げることができる強度を持たせ、ブリッジは落下することはない。(図-12)

図-12 許容変位を超える変位をした場合

図-13 歩行床の機構

6. 歩行床の設計

比較的頻度の多い中小地震や台風などの季節風による強風時においても2棟間の距離は、数十cm程度の振幅で変動する。その際に隣棟避難を確保するためには、ブリッジを歩行できるようにする必要がある。

①歩行床部分は長さ方向に10個の床板に分割する。それぞれの床板はブリッジ構造体に取り付けたレールの上を移動できる台車構造をしており、端部でオフィス棟およびレジデンス棟の床スラブと固定されている。

②歩行床を分割することにより、ブリッジ構造体とレジデンス棟の間に発生する大きな変位を各床板間の小さな変位（構造体の変位の1/9）に分散でき、歩行者の安全を確保できる。歩行床間の相対変位を均等にするため、各床板をパンタグラフ機構で繋ぐ。（図-13）

③各歩行床間のエキスパンションジョイントは、櫛歯状のステンレス製のフィンガーをお互いに噛み合わせた機構を採用し段差の無い形状とするとともに、ハイヒールの踵などが挟まれるようなことのないように配慮している。（図-14）

図-14 歩行床のエキスパンションジョイント

7. 安全性確認実験

ビル間ブリッジの支承部とパンタグラフ機構が仕様通りの性能を発揮することを確認するため実大実験を実施した。

試験体は、ブリッジ構造体の中央部を省略した長さ約13mの試験用構造体に本設の支承部と歩行床を取り付けたブリッジ全体試験体と、本設の歩行床4台をレール上に取付けた歩行床単体試験体の2種類を作製した。

試験は、表-1に示した荷重条件と5. 支持機構の設計で示した変位条件に従って、a)前後方向、b)横方向、c)上下方向、d)横方向と上下方向同時などの加力や強制変位を与える方法で行った。

試験項目は次の4項目について行い、これらの試験により、ブリッジの各機構が設計で意図した性能を発揮することを確認した。

①剛性・荷重分担確認試験

ブリッジ全体試験体に、地震時・強風時の設計荷重を加力し、各部の安全性を確認するとともに、変形量の計測から各支承部の支持条件を確認した。この結果を全体構造の解析モデルに反映し、実構造体及び支承部の荷重分担状態を求め、実験と解析により、構造体及び支承部の安全性を確認した。

②建物変位に対する追従性確認試験

地震時・強風時の設計荷重・変位条件下における、各支承部及び歩行床の変位追従性ととともに、こじり・異音などの異常が発生しないことを確認した。また、歩行床についても、変位が均等に分散しスムーズに動作することを確認した。

③振動特性確認試験

ブリッジ全体試験体の振動試験を行い、振動特性の計測値と解析結果がほぼ一致することを確認した。試験結果を反映させて求めた実構造体の固有振動数は、振れ1次が5.37Hz、水平方向の1次が5.96Hz、上下方向の1次が6.44Hz、軸伸縮の1次が7.48Hzであり、強風や歩行による共振を防ぐに十分な剛性を持っていることを確認した。また、振れ振動を減衰するために取り付けした摩擦ダンパーの効果についても検証した。

図-15 パンタグラフ詳細図

図-16 ブリッジ全体試験体全景

④歩行床の歩行性能試験

歩行床はエキスパンションジョイントで変位が均等に分散し、正常に作動することを確認した。また、歩行床に建物の振動周期で繰り返し変位振幅を加え、歩行床及びエキスパンションジョイント部の歩行体験をし、フィンガーがスムーズに噛み合い障害が生じないことを確認した。

8. まとめ

複数の高層建物を空中でブリッジにより接続することは、防災的な安全性を高めるのみでなく、建物群に新しい機能を与え、今後の建物の設計の新しい創造力を産み出す要素の一つになったと考える。

今回の設計において、構造的には従来の手法であるピン・ローラ支持方法にパンタグラフ機構を組み込んだ歩行床という二重構造を付加することで、 $\pm 2\text{ m}$ の変位への対応を可能にした。

今後の設計において、建築計画的な効果のみならず、ダンパー機能を組み込んだブリッジを用いて建物相互を接続することによる制振効果など、構造的にも接続の効果を利用した高層ブリッジの開発を目指したいと考える。

謝辞

高層ブリッジの実現にご理解を戴きました聖路加国際病院並びに三井不動産を始めとするデベロッパー各社の方々、およびブリッジの施工に当たってご協力戴きました鹿島建設を始めとする共同企業体作業所のみなさまに感謝の意を表します。

また、開発に当たってご協力を戴いた住金関西工業(株)原口氏、実験を担当して戴いた住友金属工業(株)平山氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 山崎、北村、他：聖路加ガーデン高層ブリッジの開発（その1）高層ブリッジの設計、（その2）性能確認実験、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）1994年10月

[1996年6月27日原稿受理 1996年9月10日採用決定]

図-18 ピン支承部

図-19 ピンローラ支承部

図-17 歩行床単体試験体全景

図-20 歩行床エキスパンションジョイント部