

建築基礎

Building Foundations

伊 藤 淳 志 (いとう あつし)

関西大学准教授 環境都市工学部建築学科

1. はじめに

関西支部50周年記念誌の原稿¹⁾に手を加えていた本年6月頃は、支部の発足と同年に建設された大阪新歌舞伎座の最終公演が行われており、新劇場への移転も話題となっていた。建物の寿命はおおむね50年と言われているが、改めて支部の歴史の長さを感じさせられた。

記念誌では、建築基礎に関する関西でのプロジェクトを総括するよう仰せつかったが、建築物は上部構造と下部構造（基礎構造）とが一体となって構成されるものであり、基礎だけを取り上げてプロジェクトと呼ぶのには抵抗がある。また、建築の場合はその地域と規模が多岐にわたること、民間の発注者が多いこと、設計や施工がそれぞれの企業での独自性があり、データの入手が困難なものが多いことなどから、建築基礎としてのプロジェクトを詳細に網羅することは、筆者の知識と情報では困難である。

したがって、本稿ではまず過去50年間の建築基礎の設計と施工の変遷を概観し、ついで大阪とその近辺地域に限って、ほぼ10年毎の特徴的なプロジェクトを文献から引用して概要を紹介することとした。なお、年代毎の特徴については記念誌の年代編を執筆された高嶋三郎氏、高弊喜文氏、松尾雅夫氏の報文^{2~4)}を参照されたい。

2. 建築基礎の設計と工法の変遷

表一1に過去50年間の建築基礎に関連する事項を拾い出してみた。建築の設計は、それぞれの時代の建築基準法を根幹とする関連法規や各種の基・規準に従って行われるが、特に建築基礎の場合は、日本建築学会の建築基礎構造設計指針⁵⁾（1988年以前は建築基礎構造設計規準）をよりどころとしている。指針（規準）の改定はおおむね10数年の周期で行われているが、それぞれの改定は、建築基準法と同様にそれ以前の大きな地震による被害を踏まえた主として杭基礎の耐震設計の強化と捉えることができる。1974年の規準（3版）以前は、杭は地業として取り扱われ地震時の検討は行われていなかったが、新潟地震などを契機に水平抵抗の検討が行われるようになった。さらに1988年の指針では、液状化の検討が本格的に行われるようになり、2001年の改定で限界状態設計法が取り入れられ、またパイルドラフトなどの併用基礎の考え方も示された。

大阪・神戸地域における建築は、明治以前より行われ

て来た大阪湾の埋立地に広がっていった。これらの埋立地では、地盤沈下、液状化および杭のネガティブフリクションに対する設計に注意が払われており、地盤改良とともに、SL杭、浮き基礎、不同沈下対策などの技術が採用されている。表一1には、主な埋立の時期も挙げておいた。大阪南港および神戸ポートアイランド（1期）は1980年に埋立が完成したが、初期のころは支持杭が全盛であり、ネガティブフリクションや建物浮き上がりなどの被害が多く発生した⁶⁾。これらを教訓として、その後の埋立地での建設には、いわゆる支持杭に頼らない基礎工法として、浮き基礎や摩擦杭基礎が多く採用されるに至った⁷⁾。

一方、建築基礎の施工法の変遷は、杭材料や杭工法の進歩に大きく依存していると考えられることから、表一1には既製杭のJIS規格化、日本建築センターでの各種の基礎工法の最初の評定年⁸⁾等を記述しておいた。いずれもそれ以前から開発されてきているため、使われ始めた時期は不明確であるが、規格化や評定によって本格的に用いられるようになったものと考えられる。なお、JIS化や評定の文字の記述のないものは、導入あるいは開発された時期⁹⁾と解釈されたい。

基礎工法の大きな流れとしては、関西支部が設立された1958年以前は、木杭・節杭・現場打ちRC杭などの既製杭、ペデスタル杭、深礎などが、主として短尺な摩擦杭として使われていた。その後、遠心成型のRC杭、鋼管杭が現れ、あわせて場所打ちコンクリート杭の工法が外国から導入されて、1960年代には長尺の支持杭が全盛となった。なお、騒音規制法施行以前は、既製杭は打込みによる施工が主流であった。その後、大深度の地下掘削を伴う基礎工事も行われるようになり、1970年代には関西地区でも多くの超高層建築が建てられるようになった。また、大阪南港やポートアイランドなどの埋立が行われ、ネガティブフリクション対策のSL杭の研究や開発が盛んに行われた。

1980年代になると、各種の埋込み杭工法が大臣認定を取得し、また、PHC杭のJIS化や鋼管巻き場所打ちコンクリート杭などが現れて、宮城県沖地震後の新耐震設計法に対応すべく、杭も高強度、高靱性へと進化していった。さらに1990年代には、大径の拡大根固め埋込み杭が、いわゆる高支持力杭として種々開発されてきた¹⁰⁾。1995年には、関西の建設関係者に大きな衝撃を与えた阪神・淡路大震災が起こり、その後の調査¹¹⁾に

表一 1 建築基礎の設計および工法の変遷

西暦	法・規準	地震・埋立	杭・工法	建築	元号
1958	建築基礎構造設計規準(2版)	新潟地震(M7.5)	木杭・RC杭 ベドスタル杭・深礎・ペノト工法	大阪新歌舞伎座	昭和 33
1959			イコジ工法地中壁 アースドリル工法	大阪市公館	34
1960				関電ビル	35
1961				東本願寺難波別院(南御堂)	36
1962			リバース工法	住友ビル	37
1963			鋼管杭 JIS 化	神戸ポートタワー	38
1964				本願寺津村別院(北御堂)	39
1965				ロイヤルホテル	40
1966				国立京都国際会館	41
1967					42
1968	騒音規制法	十勝沖地震(M7.9)	PC杭 JIS 化	ホテルプラザ	43
1969	建築基準法施行令改正 (耐震設計の強化)		SL 杭評定 場所打ち拡底杭評定 地中連続壁工法評定	神戸商工貿易センタービル	44
1970				大阪万博政府館	45
1971					46
1972			SC 杭評定	大同生命江坂ビル	47
1973				大阪大林ビル	48
1974				大阪堂島電電ビル	49
1975			SMW 工法	鉄鋼会館	50
1976				大阪マルビル	51
1977				阪急グランドビル	52
1978				宮城県沖地震(M7.4)	
1979	建築基準法施行令改正 (新耐震設計法)	大阪南港埋立(1958～) ポートアイランド1期埋立(1966～)	埋込み工法評定	芦屋浜集合住宅	54
1980				ナビオ阪急	55
1981		日本海中部地震(M7.7)	PHC 杭 JIS 化 PRC 杭 鋼管巻き場所打ち杭評定	大阪駅前第1～4ビル(1970～)	56
1982				神戸ポートピアホテル	
1983				ザ・シンフォニーホール	57
1984				大阪駅ビル	58
1985				国立文楽劇場	59
1986			地盤アーカー評定	大阪市庁舎	60
1987				ツイン21(OBP)	61
1988				梅田センタービル	62
1989	建築基礎構造設計指針(1版) (地盤の液状化検討)		新神戸オリエンタルシティ	63	
1989	建築基準法改正 建築基礎構造設計指針(2版) (限界状態設計法)	関西空港1期埋立(1987～) 六甲アイランド埋立(1972～)	埋込み節杭工法評定	大津プリンスホテル	平成 1
1990				大阪第一生命ビル	2
1991		大阪国際平和センター		3	
1992		RIC セントラルタワー		4	
1993		梅田スカイビル		5	
1994		関西空港旅客ターミナル		6	
1995		大阪ワールドトレードセンター		7	
1996		神戸メリケンパークオリエンタルホテル			
1997		OAPタワー		8	
1998		京都駅ビル		9	
1999	建築基準法改正 建築基礎構造設計指針(2版) (限界状態設計法)	鳥取県西部地震(M7.3)	高支持力杭	海岸ビル	10
2000				ビッグバン	11
2001		新潟県中越地震(M6.8)		大阪国際会議場	12
2002				USJ	13
2003				大阪市中央公会堂改修	14
2004				なんばパークス	15
2005				ヒルトンプラザウエスト	16
2006				兵庫県立芸術文化センター	17
2007				クロスタワー大阪ベイ	18
2008				梅新第一生命ビルディング	19
	神戸芸術センター	20			

よって、建築基礎、特に杭の被害が多数報告された。これを契機として杭基礎の設計のありかたが盛んに議論され、杭頭接合などの新技術の開発が盛んに行われている。

3. 建築基礎のプロジェクト

表一1に、大阪・神戸とその周辺地域における比較的大規模な建築を文献^{(12)～(14)}などを参考として挙げた。同表では、竣工年で記載してある。ある程度の規模の建物は、それぞれ特徴ある基礎の設計・施工がなされていると考えるが、建築の件数は毎年極めて多いため、すべてを紹介することは困難である。ここでは、ほぼ10年毎に一つずつ特徴的な建築基礎のプロジェクトの概要を文献から引用して紹介することとした。詳細については引用文献を参照されたい。

(1) 大阪堂島電ビル(1974年竣工)⁽¹⁵⁾

当該建物は、地上25階、地下3階(一部5階)、延床面積120 000 m²で、上部は鉄骨ラーメン構造の超高層建築であり、当時の電電公社のデータ通信基地として建設された。大阪市内は、中央を南北に走る上町台地から西の大阪湾に向かって沖積層が厚く堆積しており、堂島地区は約25 mの層厚となっているが、その下部に天満砂礫層があり、基礎底面はGL-26.5 mで直接べた基礎として逆打ち工法が採用された。山留めは鉄筋コンクリート連続地中壁で、地下水および下部砂層の被圧水を考慮して、GL-40 mの粘土層まで根入れされた。また、ペノト工法により直径2 mのピアがGL-30 m付近の天満砂礫層を先端として設けられ、構真柱が建て込まれた。大規模掘削では、その根切り土搬出が問題となる。ここでは、コスト的には割高となるが、ダンプ搬出にかえて、周辺交通や騒音・粉塵などの環境への影響を考慮して、

報 告

堂島川へベルトコンベヤを設置し船による搬出が行われた。

(2) 大阪駅ビル (1983年竣工)¹⁶⁾

現在の大阪駅ビルは、当駅舎の4代目として地上25階、地下4階、延床面積135 000 m²のデパート、ホテル等からなる複合ビルとして建設された。当ビルも堂島電電ビルと同様に大規模な掘削を伴う逆打ち工法であるが、旧駅舎の井筒杭を残したまま（二次的な保有耐力としてのみ扱う）その間にベノト式拡底杭をGL-30 mの第一天満砂礫層まで打設していること、GL-46 mの第二天満砂礫層まで貫入させた地中連続壁に支持杭としての機能を持たせること、などの特徴がある。鉄道に隣接した工事であるため、山留め壁の変位や地盤の沈下など絶対に起こしてはならない。当建物の基礎はそのような制約を受けながら、周到な基礎計画と綿密な計測管理のもと、約3年半の工期で建設された。

(3) 関西空港旅客ターミナル (1994年竣工)¹⁷⁾

関西空港の第一期の埋立は、1987～91年に行われたが、埋立当初からの海底地盤の沈下量は10 m以上であり、現在も圧密沈下が継続している。他の埋立地でも同様であるが、そこに建設される建物には不同沈下にどのように対処するかが最大の問題となる。旅客ターミナルビル本館は地上4階、地下1階、延床面積194 000 m²で非常に大きな建築面積を持つことから、施工中および竣工後の不同沈下対策が入念に行われた。本館は地下1階のべた基礎であるが、排土重量が建物重量よりも約8 tf/m²大きく、さらに平面位置によるアンバランスがあった。これらを改善すべく、基礎下の地盤を鉄鉱石で置換し、さらに不同沈下が生じた場合の対策として、地下1階柱脚部はベースプレート下にフィラープレート抜き差ししてレベルを調整できる機構となっている。

ちなみに、当空港の管制塔 (1992年竣工)¹⁸⁾は、高さ86 mのスレンダーな建物であるが、その重要性に鑑み、フローティング基礎と鋼管摩擦杭との併用であり、1階柱脚に複動のジャッキアップシステムを常備している。

(4) 大阪市中央公会堂改修 (2002竣工)¹⁹⁾

中央公会堂は1918 (大正7) 年に竣工した地上3階、地下1階、延床面積8 400 m²の補強鉄骨煉瓦構造であり、中之島のシンボリックな近代建築である。改修当時は80年以上の時を経て耐震補強の必要性が生じたが、文化的価値から目に見える補強が敬遠され、免震レトロフィットが採用された。建物の基礎は創建当時鉄筋コンクリートの布基礎および独立基礎に、長さ2間の松杭が地盤改良的に打設されていた。補強は、地盤の液状化も考慮して、GL-25 mまでの地中連続壁と厚さ1.2 mの礎盤を設け、地盤のせん断変形を抑制する効果を与える

とともに、礎盤と旧基礎との間に免震部材が配置された。礎盤および免震部材の設置には、基礎を仮受けする鋼管杭をジャッキで圧入し、アイソレータに荷重を移行させた後、鋼管杭を切断する方法が採用された。

4. おわりに

以上、関西における建築基礎の50年間の変遷の概略といくつかの特徴的な基礎の設計・施工の例を紹介した。筆者の知識不足および情報不足のため、総括と言うには中途半端なものとなったが、読者氏には寛容をお願いする次第である。

参 考 文 献

- 1) 伊藤淳志：建築基礎，地盤工学会関西支部50周年記念誌，pp. 55～57, 2008.
- 2) 高嶋三郎：1960～70年代の基礎と山止め雑感，地盤工学会関西支部50周年記念誌，pp. 108～111, 2008.
- 3) 高幣喜文：沖積平野部と臨海埋立地における特色ある建築基礎，地盤工学会関西支部50周年記念誌，pp. 112～115, 2008.
- 4) 松尾雅夫：最近の建築基礎の動向と事例，地盤工学会関西支部50周年記念誌，pp. 116～119, 2008.
- 5) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001.
- 6) 山肩邦男：軟弱粘性土地盤における建築基礎構造の問題点と対策，建築技術，No. 428，pp. 97～116, 1987.
- 7) 福井 實：軟弱地盤における基礎工法—フローティング基礎および摩擦杭工法を中心に—，建築技術，No. 459，pp. 146～163, 1989.
- 8) 山肩邦男・町田重美：日本建築センター基礎評定物件における最近の傾向と話題，基礎工，Vol. 17, No. 5，pp. 1～16, 1989.
- 9) 富永晃司：建築における場所打ち杭の現状，基礎工，Vol. 26, No. 7，pp. 8～13, 1998.
- 10) 青木 功：日本建築センター埋込み杭工法評定における最近の動向，基礎工，Vol. 23, No. 5，pp. 6～11, 1995.
- 11) 日本建築学会近畿支部基礎構造部会：兵庫県南部地震による建築基礎の被害調査事例報告書，1996.
- 12) 日本建築技術者協会：日本の構造技術を変えた建築100選 戦後50年の軌跡，相国社，2003.
- 13) 建設業協会：BCS 建築賞受賞作品ガイドブック，1993.
- 14) 日建設計：設計の技術 日建設計の100年，2001.
- 15) 木村栄一・三梨 彰・上中茂生：大阪堂島電電ビルの基礎と地下工法，基礎工，Vol. 7, No. 5，pp. 81～93, 1979.
- 16) 水野雅文・後藤 稔・辻村公一：大阪ターミナルビル掘削工事の概要，基礎工，Vol. 9, No. 1，pp. 2～9, 1981.
- 17) 内田直樹・多賀謙蔵：旅客ターミナルビルの設計と沈下対策，基礎工，Vol. 23, No. 1，pp. 81～85, 1995.
- 18) 辻 英一・松尾雅夫・筈谷朋也・山浦晋弘：関西国際空港管制塔基礎構造の設計と沈下対策，基礎工，Vol. 23, No. 1，pp. 86～91, 1995.
- 19) 西村清志：連続地中壁等で液状化対策を施した免震レトロフィット建物—大阪市中央公会堂，基礎工，Vol. 34, No. 4，pp. 65～68, 2006.

(原稿受理 2009.7.13)