



長大橋の基礎を振り返って

(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会理事・技術顧問、
丸泰土木(株) 技術顧問、工博

岡原 美知夫

OKAHARA Michio

日本における長大橋の歴史は、1962年に完成した若戸大橋から始まり、本四架橋でピークを迎えたことは論を待たないであろう。1998年に完成した明石海峡大橋には、強潮流、大水深における海中基礎、高強度ケーブル、耐風・耐震設計法の技術開発が必要であった。大学を卒業して当時の建設省土木研究所に入省した1970年代の中頃（オイルショックなどの時期）、本四架橋に関する主な技術検討が既にヤマバを越していたように思われた。旧土木研究所千葉支所には、本四架橋に関する実験研究の足跡がいくつか見られたが、例えば、正門を入ってすぐ右手に実杭を用いたかなり長く放置された大きな多柱式基礎（模型）が建っていた。また基礎実験棟の奥に直径30cmの試験体に対応した大型三軸圧縮試験機があったが、動いているのは残念ながら見たことはなかった。

大鳴門橋の主塔基礎は多柱式基礎であるが、長大橋の基礎として技術的な詰めが必要であったのではないかとされる。それまでの海外の長大橋、例えばブルックリン橋、オークランドベイ橋、ゴールデンゲート橋等、基礎形式は、ほとんどが剛性の大きいケーソン基礎や直接基礎が用いられてきたからである。大きな渦潮が発生する潮流の速い海域にどのような基礎形式が最適であるのかいろいろ検討され、その結果が渦潮の抵抗が小さい多柱式基礎であったのであろう。先に述べた旧土研構内に設置された大型多柱式基礎の模型で水平載荷試験を行い、水平抵抗を確認されたのではないかと（推測）。長大橋の基礎としては、多柱式基礎の形式は剛性が小さく、耐震設計をクリアするため、大口徑の杭を露出した岩盤にかなり根入れしたのであろう（根入れにより水平抵抗を確保）。岩盤は和泉砂岩で、現場施工写真から中硬岩位と判断されるが、もしそうであれば岩掘削にかなり苦労されたのではないだろうか（推測）。

建設時、外殻の基礎鋼管は型枠として設計されていたが、その後、1995年兵庫県南部地震を受けてL2地震動に対する安全性の要求に対応するため、耐震補強として、基礎コンクリートの拘束効果を外殻鋼管（帯鉄筋相当）に期待したとのことである。腐食環境は大変厳しいので、本格的な防食対策（電気防食、チタンカバー設置等）を実施して、維持管理をされているとのことである。

明石海峡大橋は、神戸側主塔基礎は明石層（未固結の砂礫層）、淡路側主塔基礎は神戸層（軟岩）を支持層としている。特に神戸側は花崗岩が海面下150m以上の深

さのため明石層を支持層とせざるを得なかった。礫径が100mmを越える明石層の強度、変形特性の把握のため、大口徑（ $\phi 300\text{mm}$ ）のボーリング技術が開発された。ここで採取された不攪乱試料を用いて、先に述べた大型三軸圧縮試験機で実験されたと推察している。不攪乱試料による精密な土質試験により、当初-80mを基礎底面としていたが、-60mに変更された。-80mまでの海中基礎は施工の技術的難易度が極めて高いが、この変更により確実な施工が可能と判断されたと推察される。

明石海峡大橋の主塔基礎の直径は80mであるが、この根拠を質問したことがある。当時の担当責任者は基礎の寸法をどのようにして決定するか悩んでいるとの回答であった。支持力に余裕があるものの、力学的に決定するのは難しいのだと理解した。基礎が大きくなれば、その分地震時の慣性力が大きくなり、基礎の規模が収束しなくなる恐れもある。基礎の規模の決定は技術者の主観的な判断によるところが大きいのかも知れない。

主塔基礎は、鋼製の設置ケーソンであり、海中コンクリート打設の型枠であるが、板厚は腐食代を考慮して20mmとのことである。特に腐食環境が厳しい、飛沫干満帯は防食塗装を実施している。ケーソン内部の海中コンクリートの劣化を防ぐため、今後もケーソン外壁の調査を継続し、保全する方針に変更されたとのことである。長大橋の架け替えは現実的ではないので、できるだけ長く、例えば200年以上の健全性確保が期待される。

ところで、1995年にマグニチュード7.3の兵庫県南部地震が発生した。明石海峡大橋は架設中であつたが、周辺海域の断層が動き、中央径間長が約80cm長くなり、橋軸直角方向（神戸側主塔30cm、淡路側主塔52cm）にも変位が生じた。この結果、中央径間中央のケーブルで1.3m程度サグが小さくなり、ケーブル張力が0.6%大きくなったそうである。補鋼桁については製作前であつたので、長くするなど容易に設計変更ができたとのことである。もし地震断層の上に基礎が乗っていたとすれば、明石海峡大橋はどうなっていたか。この程度の被害で済んだことは誠に幸いであつたと思つた次第である。

参考文献

- 1) 本州四国連絡高速道路株式会社、株式会社ブリッジエンジニアリング編著：長大吊形式橋梁の建設・維持管理、建設図書、令和4年3月