

国重要文化財の永代橋、清洲橋の長寿命化

紅 林 章 央

永代橋と清洲橋はいずれも関東大震災の復興事業で隅田川に架設された橋梁で、構造や景観が優れていることから国の重要文化財に指定されている。都では、この優れた建造物を今後100年以上延命させるため、長寿命化対策を行っている。

対策は両橋とも耐震性が現行基準を満足しないことから、永代橋については地震時のみ作用する機能分離構造の支杵を追加設置することで地震力を分散し、清洲橋については制振装置を桁と橋台の間に設置することで地震時慣性力を低減させた。なお文化財であることを考慮して、追加設置が明確に分かる形状にしたことに加え、リベットなど貴重な部位への影響を可能な限り少なく抑えた。

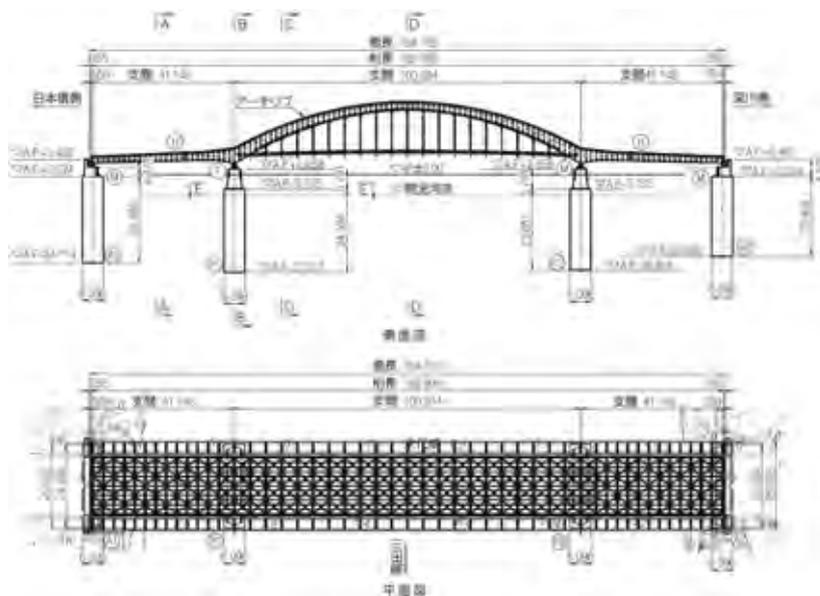
キーワード：長寿命化，耐震補強，国指定重要文化財，機能分離型構造，制振装置

1. はじめに

隅田川には、道路橋が28橋架設されている。これら橋梁の構造形式は、アーチ橋、斜張橋、桁橋など多岐にわたっており、「橋の展覧会」ともいわれている。これら橋梁群の中で、関東大震災の復興事業をはじめ戦前に架設された道路橋は11橋にも及ぶ。構造の素晴らしさや外観の美しさから、いずれも我が国を代表する橋梁として名高い。特に永代橋、清洲橋、勝鬨橋の3橋は国の重要文化財に指定され、他の橋梁についても都指定の歴史的重要な建造物に指定されている。



写真—1 永代橋



図—1 永代橋一般図

都では、この貴重な土木遺産を次世代に健全な姿で継承するために、都が管理する橋梁について「長寿命化橋梁」に位置づけ、補修や補強などの対策を実施してきている。本稿では、そのうち永代橋（写真—1、図—1）と清洲橋（写真—2、図—2）の長寿命化対策について報告する。

2. 東京都の長寿命化事業

東京都が管理する道路橋は約 1,200 橋ある。このうちの約 1/3 が、建設後 50 年を経過したいわゆる高齢化橋梁である。このまま、これらを放置すると、今後多くの橋梁で架け替えが必要となり、財政への影響はもとより、工事による交通渋滞の発生などが危惧されている。

このため都では、平成 21 年 3 月に「橋梁の管理に関する中長期計画」を策定。損傷を発見してから対策を行う「事後保全型管理」から、橋梁の損傷が致命的になる前に計画的に補修や補強を行う「予防保全型管理」へ転換を図った。この計画の中核をなすのが「橋梁の長寿命化事業」である。

都の長寿命化事業は、橋長 100 m 以上の長大橋、鉄道や道路との立体交差橋、そして永代橋や清洲橋のように文化財的価値の高い橋など約 200 橋を対象に、各橋梁の耐震性、耐荷性、疲労耐久性などについて、最新の『道路橋示方書』などの基準を満足するよう、補修や補強を施し、橋梁の寿命を「対策後 100 年以上延命」することを目標にしている。

3. 長寿命化にあたっての基本的考え方

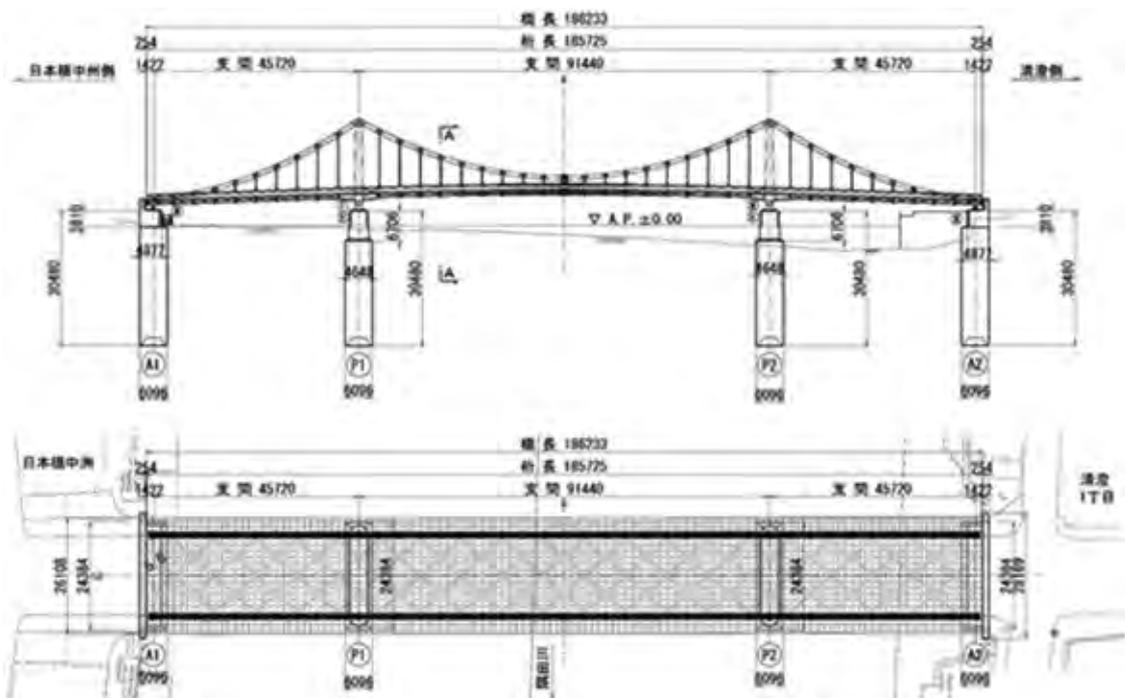
文化財保護の考え方は、遺跡や寺社等建造物については事例も多く確立されているが、近代のしかも現役の土木構造物については十分に確立されていない。そのため、土木学会で取りまとめた『歴史的土木構造物の保全』を参考に考え方の整理を行った。

(1) 価値の尊重

文化財は、建設の背景、適用された技術・意匠・工法、または建設後の保存活用状況などに応じた固有の価値を有している。その価値は他の文化財では代替できない唯一性のものが多く、かつ、一度失われれば取



写真—2 清洲橋



図—2 清洲橋一般図

り戻すことが困難な場合が多い。よって、オリジナルの部材は可能な限り保存し、補強部材は明確に認識できるようにすることが望ましい。

(2) 最新技術基準の要求性能の確保

供用中の土木構造物であるため、文化財といえども、安全性など現在の技術基準を満足する必要がある。そのため、技術基準の要求性能の確保と文化財の保全とのトレードオフを解決する必要がある。

(3) 最小限の措置、可逆的な措置

補修工法などの技術的進歩は著しい。そのため、ある時代の最新技術工事が時を経て陳腐化し、構造物に何らかの悪影響を及ぼし価値が減少することのないように計画する必要がある。よって対策は、最新技術による工法を採用することを前提の上、最小限の措置に留めるべきであり、将来の除去更新が容易に行えるよう可逆的な措置をとる必要がある。

4. 重要な構造の把握

対象となる橋梁では、現代では既に使用されなくなった構造が多くあり、これらが橋の文化財としての価値を高めることにもなっている。これらを長寿命化工事において不用意に撤去し、文化財としての価値を損なうことのないように、対象橋梁における重要部材を明確にした。

(1) 永代橋

(a) 橋梁構造形式（タイドアーチ橋）

永代橋の橋梁形式は、国内最古の鋼タイドアーチ橋で、我が国で初めて支間長 100 m を超えた道路橋である。またアーチタイには、国内で唯一アイバーを使用し、その材料には特殊鋼材であった高張力鋼のデューコール鋼を国内で初めて使用している（写真—3）。

(b) 床版（バックルプレート、清洲橋も同様）

床版は、現在用いられるような鉄筋コンクリート床版ではなく、バックルプレート床版（厚さ 8 mm 鋼板の上に無筋の軽量コンクリートを設置）が用いられている。このような構造は、昭和 10 年代以降用いられなくなった。東京都の管理橋梁では本橋を含め 7 橋のみという非常に希少な構造である（写真—4）。

(c) 橋門構、上横構

主部材ではないため、橋門構はワーレントラス、上横構は K トラスで組まれている。いずれも繊細なトラス構造であり、重厚なアーチと対比を成し、永代橋



写真—3 永代橋のアーチタイ（アイバー使用）



写真—4 永代橋のバックルプレート床版



写真—5 永代橋の繊細な上横構

の外観上重要な要素となっている（写真—5）。

(d) 支承（ローラー支承、ピン支承）

アーチを支える鑄鉄製の支承は、建設当時国内最大の大きさであったことに加え、造形的にも秀逸であり、永代橋の外観の大きな特徴になっている（写真—6）。

(e) 基礎（清洲橋も同様）

基礎は、米国の基礎工事会社（ニューヨークファウンデーションカンパニー）から専門技術者を招聘して、当時最先端技術であったニューマチックケーソン工法により施工された。なお、現代ではケーソンは鉄筋コンクリートや鋼で製作するが、永代橋では木製で製作された。

(f) 橋台・橋脚（清洲橋も同様）

橋台、橋脚とも側面と頂部に花崗岩を貼っている。



写真—6 永代橋の支承と石貼り橋脚



写真—8 清洲橋吊鎖アイバー架設状況

単なる意匠としてではなく、コンクリートを施工する際の型枠としての機能や、流木などからコンクリートを守る働きがあった（写真—6）。

(g) リベット（清洲橋も同様）

建設当時は、厚い鋼板の製造が不可能であったことから、鋼板を重ね合わせることで設計上必要な鋼材厚を確保していた。この鋼板を重ね合わせる際にリベット（鉚）を用いていた。リベットの頭は丸形状であり、これが作り出す陰影が、景観上重要なアクセントとなっている（写真—7）。



写真—9 清洲橋主塔



写真—7 永代橋アーチリブのリベット



写真—10 清洲橋支承

(2) 清洲橋

(a) 橋梁構造形式（自碇式吊橋）

国内初の鋼自碇式吊り橋で、さらにケーブルは鋼板やアイバーを重ね連ねて吊鎖としたチェーンブリッジという構造である。これはワイヤーが使用される以前の構造で、国内では唯一の施工事例である。なお、吊材の材料には永代橋のアーチタイと同様に高張力鋼であるデュコール鋼が使用されている（写真—8）。

(b) 主塔

主塔は、戦前では唯一の鋼製の箱構造（6セル）で、

塔頂部にはサドルはなく、チェーンを直接ピンで固定する構造になっている。これも国内唯一の事例である。主塔の門構はアーチ状で、頂部に小アーチを有する優雅なデザインである（写真—9）。

(c) 支承（主塔支承）

主塔と橋脚の接続部に用いられた球面の支承であり、戦前では唯一の事例である。半円状の鋼板を組み合わせて球体化したもので、全方向に回転できる構造である。非常に美しい形状をしており、景観上もたいへん重要な部材である（写真—10）。

5. 構造照査結果

橋梁の寿命に影響を及ぼす、耐震性、耐荷性、耐疲労性、耐久性の4項目について、『道路橋示方書』などの最新基準に基づき照査を行った。結果を以下に示す。

(1) 耐荷性

永代橋、清洲橋共に設計当時路面電車(30tf×2)の荷重を見込んでいたこともあり、現在のB活荷重に照らしても、安全性を満足した。清洲橋では、主桁1本あたりの受け持つ荷重が、現在の基準で設計すると、32.4N/mであるのに対し、実際の設計は67.0N/mと2倍の余裕を持っている。

(2) 耐震性

(a) レベル1地震動

関東大震災の震災復興橋梁では、設計水平深度1/3g、鉛直震度1/6gで設計されていた。これはいずれもレベル1地震動よりも大きいため、レベル1地震動は満足した。

(b) レベル2地震動

永代橋はタイドアーチ橋、清洲橋は自碇式吊橋という特殊な構造であり、地震時の挙動が複雑になると想定されることから、橋脚躯体・基礎については地盤も含めた有限要素法(プッシュオーバー解析による荷重～変位関係に基づいたバネの算出)を用いてその地震時挙動特性を評価した上で、橋梁上部工の動的解析により、レベル2に対する照査を行った。なお、両橋はその重要性に鑑み、耐震性能2を目標性能とした。

永代橋では支沓部(固定)と橋脚で、清洲橋では補剛桁と橋脚で許容値を超過した。

(3) 耐疲労性

『疲労設計指針』に準拠した照査を行った。建設当時の設計で電車荷重を考慮していたために、一定振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界を用いた照査を満足するため、十分な余裕を持っていると判断できた。なお、本橋の主要部材の連結はリベット継手であるが、上記指針にはリベット継手に関する規定はない。そのため、『鉄道構造物等設計標準・同解説』に準拠してリベット継手の疲労等級をC等級として評価した。

(4) 耐久性

両橋とも汽水域にあり、塩水によるコンクリートの塩害の影響が懸念された。しかし、両橋とも橋脚の表

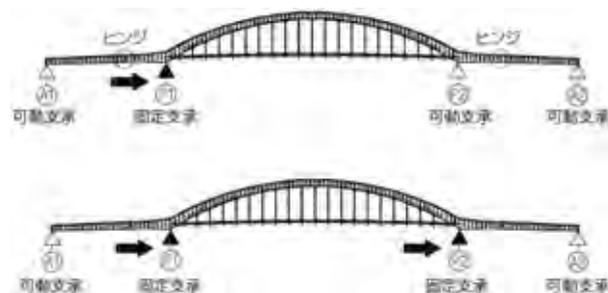
面に厚さ45cmの花崗岩が貼られているため、塩分の浸透が抑えられ、架設後90年を経過しているにも関わらず、塩害がほとんど進行していなかった。また、コンクリートの中性化も、同様の理由からほとんど進行が見られなかった。なお、コンクリートの圧縮強度も調査の結果60N/mm²程度あり、現在の標準的な設計値の24N/mm²を大幅に上回っていた。これも中性化が進行しなかった大きな理由と思われる。

6. 補強概要

(1) 永代橋

永代橋のタイドアーチを支える橋脚は、P1橋脚を固定する支承条件であり、橋軸方向に地震力を受けると上部工慣性力は全てP1橋脚に集中する。地震時にP1支承や橋脚が損傷しないように、1点固定を解消し、P1、P2の2点の支承で受ける構造へ変更した(図一3)。前記した「長寿命化にあたっての基本的考え方」に則り、貴重な支承を交換するのではなく、常時は既存の支承で支え、地震時に発生する水平力に対しては、新たに設置する支承で対応する機能分離型構造で対応することとした。

支承の形状については、前記した「長寿命化にあたっての基本的考え方」に則り、外観上、既存の支承と明確に違いがわかるよう、写真一11のような形状とした。



図一3 永代橋の耐震補強の考え方(支承条件を1点固定から2点固定へ変更)



写真一11 永代橋の右側の支承が新規設置

(2) 清洲橋

レベル2の地震動に対応するために、制振装置（粘性ダンパー）を、補剛桁と両橋台の間に設置して、地震時慣性力を分散させ両橋台に負担させることにした（図-4）。照査の結果、減衰性能として1橋台あたり12,000 kN相当を持つ制振装置を設置すれば、上部工構造の耐震性能は満足されることが判明した。制振装置は、均等に力が作用するような配置や将来の管理から国産のものからの選択を考慮し、1橋台当り1,500 kN × 8個を配置することとした（写真-12）。なお、補剛桁への反力を伝達する鋼材の設置については、前記した「長寿命化にあたっての基本的考え方」に則り、既存のリベットの撤去が生じないように、図-5のように、リベットの無い腹板へ定着を行った。

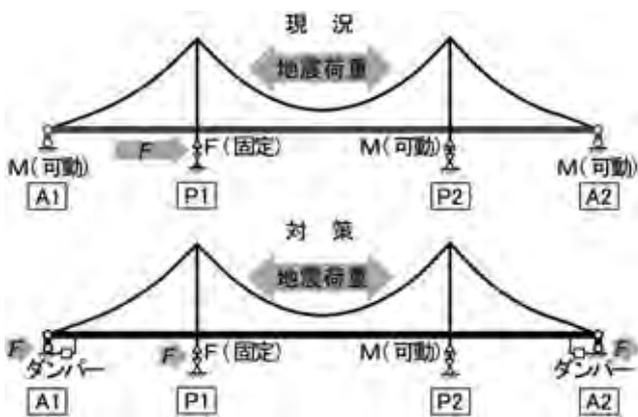


図-4 清洲橋の耐震補強の考え方（制振装置による減衰）



写真-12 清洲橋の制振装置

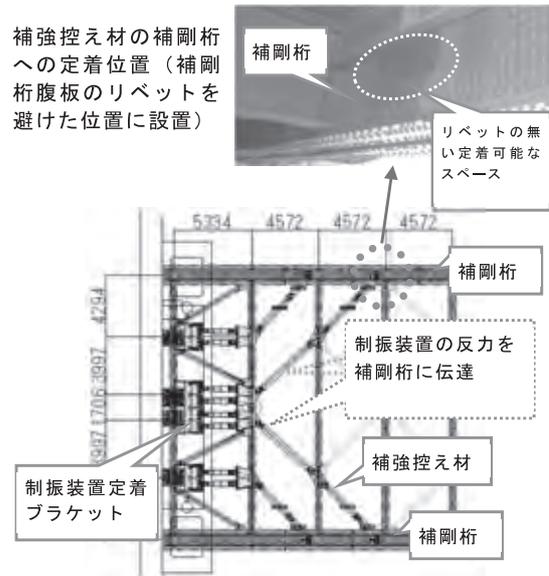


図-5 制振装置と補強控え材の平面配置図

7. おわりに

永代橋、清洲橋という貴重な土木遺産を今後100年以上延命していくという命題に対し、オリジナルにあまり手を加えずに少ない補強で済んだのは、復興局橋梁課長であった田中豊をはじめとする先人達の将来を見据えた先進的な設計に負うところが大きい。今から1世紀近く前に、橋梁設計の柱となる耐震や耐荷などの設計思想が、現代でも通用するようなレベルに達していたということに驚きを禁じ得ない。

謝辞

最後に、今回の検討にあたっては、伊東孝元日本大学教授を委員長とした「国指定重要文化財橋梁の長寿命化検討委員会」を開催し、伊東委員長をはじめ委員の先生方には多くの御助言を頂きました。ここに御礼を申し上げます。

JCMMA

【筆者紹介】

紅林 章央（くればやし あきお）
東京都建設局道路建設部
橋梁構造専門課長

