

ミレニアム・ブリッジの閉鎖

【2000年6月12日、イギリス ロンドン ミレニアム・ブリッジ】

中尾政之（東京大学大学院 工学系研究科 総合研究機構）

テムズ川に紀元 2000 年を記念し、ミレニアム・ブリッジが開通した。開通後、多くの人々がこの橋を渡りに来たが、歩行者により橋桁が横に揺れ、その振幅が数センチに達したため、危険ということで、開通 2 日後に閉鎖された。あまりにも橋の剛性、特に横方向の剛性が低いことが原因であった。

1. 事象

2000 年 6 月 10 日、テムズ川に歩行者専用の橋として、1,820 万ポンド（約 33 億円）をかけて建設されたミレニアム・ブリッジが開通した。開通後、多くの人々がこの橋を渡りに来たが、歩行者により橋桁が横に揺れ、その振幅が数センチに達したため、危険ということで、開通 2 日後に閉鎖された。

2. 経過

2000 年 6 月 10 日、テムズ川をはさみ、対面する北岸のセントポール寺院と南岸のテート・モダン現代美術館を一直線に結ぶ歩行者専用の「ミレニアム・ブリッジ」が開通した。オープンしたての「テート・モダン現代美術館」の爆発的な人気も手伝って、8 万人から 10 万人の人々が橋に殺到した。

その日は、一日中強風が吹き荒れていた。そんななか、歩行者数の制限も特にないまま、大勢の人々が通行を開始した。ところが橋が、突然横揺れ状態（最大 70mm 程度）になり、歩行中の人々はパニックに陥り、手すりにしがみついたり、気分が悪くなって引き返したりした。

開通 2 日後の 6 月 12 日に閉鎖した。

原因調査を開始し、対策後 2002 年 2 月 22 日に通行を再開した。

3. 原因

横揺れ発生のメカニズムは、以下の通りである。

人が橋の上を歩行するときに発生する少しばかりの横方向の力（1 人の場合約 25N）が、橋に作用する。（図 1）

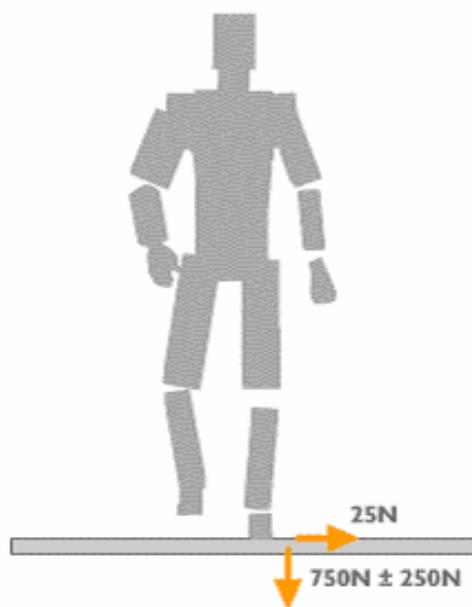


図1 歩行で橋に作用する力 [1]

大勢の人がたまたま歩調を合わせると、それによって橋が少し横揺れする。人々はその横揺れに合わせて歩き出す。ついには橋の横揺れと人々の歩調が同期し、共振して大きな横揺れになってしまった。

デザイン的には素晴らしい橋であったが、橋の横剛性が低すぎる設計であった。設計した Arup 社は、この横揺れはミレニアム・ブリッジ特有のものでなく、横周波数 1.3Hz 以下の橋で、ある人数以上の歩行者がおれば、他の橋でも起こりうるとしている。そして、調査の過程の話として、ミレニアム・ブリッジとまったく構造が違うが 1975 年 Auckland Harbour ブリッジでの歩行による横揺れのビデオを発見した。しかし、その現象は広く公表されておらず、橋梁の専門家の目に触れていない、としている。つまり、歩行による縦揺れなら公知で考慮すべきだが、横揺れは些細で設計基準にはないということだろうか、よくわからない。日本からも筆者の同僚である東京大学の藤野陽三教授が対策委員会に参加したが、守秘義務があって何も教えてもらえなかった。

4 . 対処

当初、歩行人数が制限されたが、依然横揺れは解決せず、原因は不明のままであった。ミレニアム・ブリッジ公団側は「安全性に対し問題はない」としながらも、開通 2 日後の 6 月 12 日に橋を閉鎖し、原因調査に乗り出すことになった。設計を担当した Arup 社が対策プロジェクトを編成して調査を開始した。

5 . 対策

対策案としては、橋の剛性を上げて、歩行のステップと共振しないようにすること、およびダンパーを追加しエネルギーを吸収することの 2 つの方法が検討された。共振を避けるために剛性を高めるには、多くの補強が必要なこと、外観が大幅に変化してしまうことなどの理由により、ダンパーの追加案を採用した。

横方向の動きを吸収するダンパーは、粘性ダンパーが採用された。(図2：四角に見える箱がダンパーである)

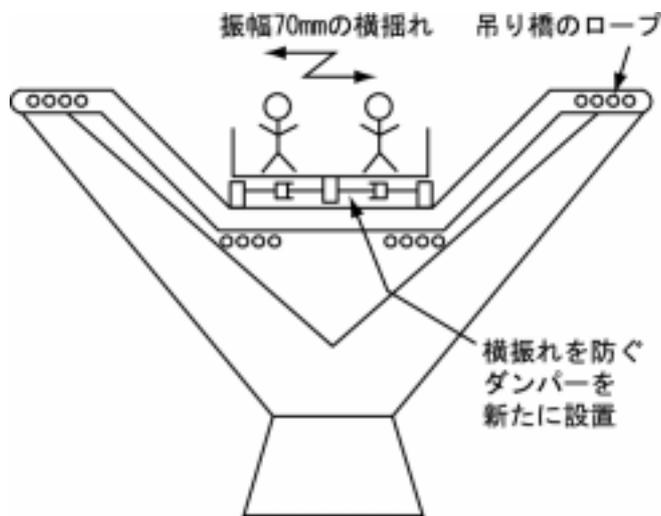


図2 ミレニアムブリッジの断面 [3]

また、歩調を揃えて歩いた時に生じる垂直方向の共振を防止するために、別のダンパーも、念のために追加された。

なお、兵士の行進によるつり橋の落下事故は、1831年イギリスで・マンチェスター郊外アーウィン川での事故と、1850年フランス・アンジュールのメヌ川での事故が有名である。(参考文献:A. サトクリッフ, 他著:現代教養文庫 エピソード科学史, 社会思想社, 1972)

対策には、500万ポンド(約9億円)かかった。

最大約2,000人の揺れテストなどが行なわれ、2002年2月22日再度開通した。

6. 総括

この橋の構造設計を担当した会社は、イギリスのArup社という世界でも有数の設計コンサルタントであった。そのレベルの設計でも、このような設計ミスを起こしてしまうのである。Arup社のホームページにこの事故と対策について掲載している。ミレニアム・ブリッジのみでないなど、やや責任回避的と思われる記述もあるが、公共施設の建設にも過去の失敗に多くの学ぶことがあることを、この事故は教えている。

7. 知識化

- (1) 共振すると、構造物や機械は簡単にこわれてしまう。
- (2) 事故は想定した条件を超えた部分で容易に発生する。
- (3) 新しいチャレンジには、関連情報の収集・解析が不可欠である。

8 . 背景

イギリスでは 21 世紀を迎えるということで、記念として 3 つのミレニアムプロジェクトが実施された。ドームと大観覧車とこのミレニアム・ブリッジである。ドームは企画が悪く人が集まらず、大観覧車はトラブル続きで、最後のミレニアム・ブリッジに期待が集まっていた。

ミレニアム・ブリッジは、著名な建築家フォスターと彫刻界の大家アントニー・カーロがデザインし、その提案がコンペで一位をとった鳴り物入りの橋であった。ケーブルを水平に渡し、それに桁を持たせた。極めて軽い、透明感のある橋で、都会的な、そして斬新な橋である。ミレニアム・ブリッジは、ロンドン中心部では 1894 年開通のタワー・ブリッジ以来、108 年ぶりにテムズ川に架けられた橋であった。

<引用文献>

- [1] Arup 社：<http://www.arup.com/millenniumbridge/>
- [2] 山田構造設計事務所：<http://homepage2.nifty.com/y-structure/index.html>
- [3] 中尾政之著、失敗百選、森北出版（2005）

【追補 2010年3月31日】

後日談

橋の揺れの原因が歩行者にあると推定し、7月から数百人の歩行者による試験が実施され、激しい横揺れは歩行者による共鳴現象が原因とされた。このような現象は、ミレニアム橋ばかりでなく、振動周波数がほぼ 1.3Hz の他の橋でも多くの歩行者による荷重で起こると結論づけられた。

対策は、橋の横方向と縦方向のダンピングに Tune Mass Dumper と Viscos Dumper を取り付けて、振動を共振しない周波数に制御している。