



1. はじめに

前号のシリーズ⑩では、災害発生時の救援・復旧等で活躍する「無人化施工」を紹介した。

今回は、地震、火山噴火、水害、原子力施設の事故などの重大災害発生時の救援、応急措置、復旧への適切な出動態勢を整えるための情報収集を行うロボットを紹介する。人が立ち入れない危険な場所で建設機械を遠隔操縦して施工するためには、災害発生現場の状況を正確に把握しておく必要がある。

災害発生時には、交通や通信手段が途絶する、2次被災の懸念等により立入りが規制されるなど、被災状況の把握が困難となる場合が多い。火山や地震災害等終焉のタイミングの把握が難しい災害の場合、被災状況の把握と施工体制や機械の選定等を含めた組織的な救援活動の開始に10数日～数週間要している。危険を顧みずに被災現場に急行し、迅速で正確な被災状況を把握し報告してくるロボットは頼もしい助っ人である。

救援や復旧の人員や機材の投入の時期や規模の判断に必要な情報として、被災範囲の特定、被災状況、被災現場までの道路やトンネルが安全に走行できるか、堤防や崖部に決壊や崩壊の危険がないか、火山活動が沈静化しているか、などがあ

る。これら被災の情報をいち早く掌握するために、監視・計測機器を搭載した各種の「小型無人移動体」の研究が進められている。

今回は、地上、空中、海洋分野での危険、苦渋現場の調査で活躍する「小型無人移動体（調査ロボット）」開発の現状を紹介する。

2. 調査ロボット開発事例

2.1 調査ロボットの活躍の場

表1に調査ロボット例を示す。表中の①～⑩は、前回まで、走行系の構造別等に分類して解説を行ってきたシリーズの連番である。

調査ロボットは、カメラによる現場状況の把握や欠陥の検査、温度や湿度等の計測、地盤固さの調査、堆積物深さの調査、現場土壌の採取等を行う。

2.2 大学と検査・探査ロボット

調査ロボットはセンサ等の搭載が目的で作業を前提としていない、小型軽量でデータ解析等学術性のある研究を含んでいるため、大学や公的研究機関の研究から発祥したものが多い。表2に、大学が開発に関与した調査ロボットを例示した。

表1 調査ロボット

ロボット稼働現場	調査対象	調査ロボットの構造等
空中より	空撮	表2参照
架線上を走行	架線検査 (⑤)	3輪 (⑤), 2輪, 単輪
地上構造物	床下点検 (①), リングネット検査 (④), 原子力, 橋梁 (⑨), プラント保守 (④), 建物外壁	履体, 多輪, 軌道 (⑨), 磁石 (⑨), 吸盤/吊下げ型, 自立型
地表	斜面歩行 (④), 地雷探査 (④), 瓦礫下, 火山調査	3輪 (⑧), 多輪, 多足 (汎用型4足歩行, 蜘蛛型 (⑨)), 脚輪 (④)
氷上, 雪上	氷上, 雪上検査	履体
地中, 管中	地中の管路や空洞探査 (⑧), トンネル検査, 下水・給水管路の検査や補修	多足・蛇型 (④, ⑥), 4輪 (⑧), 多輪 (⑤, ⑥)
渚	水中検査 (④)	多足
水上	水中検査 (④)	浮遊体
水中	水中検査, 水中構造物保守 (④)	遊泳型, 吊下げ型, 底部歩行型



写真17 WULESTEG (建物と橋梁が一体化：ドイツ)



写真18 PONTE ZUBI-ZURI (平面U字型：スペイン)

景観と調和させることに苦勞し努力してきた。しかし、時代が移ると目立つものなら、まちのシンボルにすれば最も効果的であると考え始めた。そして周辺の高層ビルに対応するように歩道橋のサイズが巨大化し、より自由な構造形式が選ばれるようになってきた。また新素材を歩道橋に用いることも考えられ、今後は新橋梁形式のプロトタイプとしての役割を担うことが考えられる。

外国の事例(写真17, 18)を紹介するが誌面の都合で多くを記載できず残念であるがお許しを願いたい。最後にものづくり大学で建設したGFRP角パイプ材(Glass Fiber Reinforced Plastics)を使用したトラス橋を紹介する(写真19)。高価ではあるが強度が高く、腐食せずそして塗装が不要でLCC(Life Cycle Cost)を考慮すれば、将来、発展可能な橋梁材料であり、これによる新形式橋梁も期待できる。

7. おわりに

構造形式においては、萌芽期の小型から次第に大型化し、量産期のみが単純桁橋で歩道橋数の占める割合は圧倒的に大きく、次に続くのはラーメン橋であった。また主桁と橋脚との関係では萌芽期と転換期では同一断面形状で連続性があったが、成熟期は異なる断面形状となり意匠性が強調され始めていることがわかる。ラーメン形式がその期を反映しており、歩道橋に適したものであることも明らかになった。

さらに、初期のラーメン橋は小型で、歩道橋と



写真19 ものづくり大学第二連絡橋(GFRP歩道橋：埼玉県行田市)

して質実な構造形式であった。またトラス橋やアーチ橋など多種の構造形式は、その後に現れた標準形式により発展の道が閉ざされた。萌芽期に構造形式の標準化が岐阜、兵庫および東京で独自に行われていた。これは歩道橋が標準化に適した構造物である証で、かつ標準形式が量産期において大量に採用された一因であるといえる。また歩道橋は施工性が重視される構造物で、使用材料により大きな差が現れていた。既存道路に設置する場合は鋼橋、新道建設と同時に設置にはコンクリート橋が多く採用されていた。

このように歩道橋はわが国で成長したものであり、日本の高度経済成長がもたらした遺産ともいえる。

最後に当時の橋梁技術者にとっては歩道橋の関心が低かったようだが、萌芽期の設計では岐阜市で活躍した車戸建築事務所、国道43号では大阪大学の前田幸雄博士、量産期は工業デザイナーの柳宗理博士、転換期は環境デザイナーの大野美代子氏、竹内きょう氏らの活躍があったことを記す。

【引用及び参考文献】

- 1) 土木学会編：「日本土木史 [昭和18～40年]」，立体横断施設，P398-399，1973.4.
- 2) 日本道路協会編：「立体横断施設設置要領(案)／横断歩道橋設計指針・解説」，1967.10.
- 3) 建設省土木研究所編：「土木構造物標準設計第五巻」，1966.
- 4) 横断歩道橋委員会：「横断歩道橋研究報告書」，日本道路協会，1964.3.
- 5) 建設省土木研究所編：「土木構造物標準設計第五巻」，1984.
- 6) 増渕文男：「横断歩道橋の構造形式の変遷に関する研究」，土木学会，1994.3.
- 7) 増渕文男：「横断歩道橋の構造意匠に関する研究」，日本都市計画学会，1994.11.
- 8) 日本鋼構協委員会編：「これからの歩道橋」，日本鋼構協協会，技報堂出版，1998.5.
- 9) 土木学会構造工学委員会研究小委員会「ベデ」，土木学会，鹿島出版会，2006.2.



写真13 桜木歩道橋（横浜市）

材断面が施工性からそれほど縮小できず、これを組み合わせた全体構造は巨大化してしまいヒューマンスケールからかけ離れるものとなった。

土木学会賞を受賞した蓮根歩道橋（写真11）は周辺環境に融和したタイプで、構造形式は鋼ラーメン橋であり、主桁と橋脚とは同一の箱型断面を採用し一体感を重視した。地覆端部には写真12のような化粧板を使用し、横軸を強調したスレンダーな意匠に仕上げられた。平面形状でも先駆的な設計で、三方から交差した中央部に円形の開口部を設け、中心に照明灯を設置し、周囲に広場を設けている。

この期は、主桁を包み込むような化粧板を使った歩道橋が建設され始めた。この代表例では写真13の桜木歩道橋がある。高欄は透明樹脂板を使用し、主桁は逆台形断面で下底の幅を橋脚幅と一致させるなどの配慮がなされている。

5. 成熟期1985年～（昭和60年以降）

高度経済安定期になると社会基盤施設の質の充実が求められた。歩道橋は快適性や利便性を考慮するため、通路としての単一機能から、眺望する空間、くつろげる広場としての機能を付加するようになった。また交通拠点および大型施設間等を連絡するために線から面へと拡大し、歩道橋が建築物と同化し始めた。構造形式は転換期の融和タイプが大型化して受け継がれた。これにより重厚感が増し、街路景観に配慮するために装飾が重視され始めた。この期の代表的な形式は化粧板を持



写真14 MM21動く歩道橋



写真15 幕張新都心の歩道橋（千葉市）



写真16 品川GCスカイウェイ橋（東京都品川区）

つ鋼ラーメン橋である。

● 上空歩道のネットワーク化

横浜にマンモススケールの歩道橋、「MM21動く歩道橋」（写真14）があり、エレベーター、エスカレーター、自動水平移動装置そして屋根を装備し、新都市を演出する意匠となっている。このビックスケールは超高層ビル街とマッチさせるため、駅前広場と2街区を結んでランドマークになる。さらに建物と複数の歩道橋を連絡するネットワーク化が進められている。本格的なものでは幕張新都心や品川セントラルガーデンに導入され、その一部が写真15、16のように完成している。このネットワークは街区内にある建築物の2階通路部分を歩道化し、他の街区と連絡するところに歩道橋を設置して、大規模な上空歩道地域を形成している。

6. 未来展望

建築分野と土木分野の間に存在する歩道橋は、建築的な要素を含む土木構造物で、橋梁構造のすべての要素を持ちながらも、小規模なためか注目されずにいた。しかし、近年は材料および構造で新しい提案をこの歩道橋で試みるようになってきた。これは荷重が明確で小さく、小規模な構造であるため形式および意匠において自由度が高く、デザイナーにとって設計意図が強く打ち出せる構造物ゆえである。

歩道橋は道路上空を跨ぐもので景観的には目立つ構造物であり、橋梁設計者やデザイナーは周辺

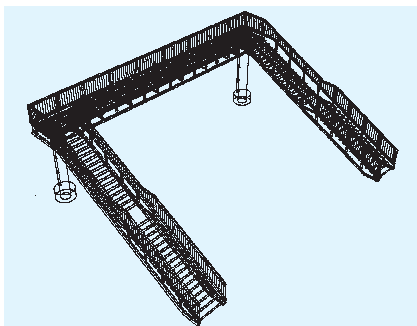


図1 標準形式の歩道橋

階段も形鋼材を使用した。橋脚構造については、主桁との連結部はピン支承で、基部は固定支承とした。昇降部の構造も橋脚とほぼ同様で、場合によっては中央に橋脚を設けることもあった。初期の標準形式では4種類の構造形式を用意したが、下路式I形単純桁、図1が最も多く建設され、この形式が、現在のわが国を代表する歩道橋となっている。

3.2 脱標準化

この期になると単路横断から、交差点などに架けられるものが増加し、平面線形を考慮する必要が出てきた。そこで写真9のような平面形状で、□, H, X, Yなどの多様な形式が建設された。

昇降部はベビーカー、自転車などを配慮しスロープ化され始めた。また、この期には、歩道橋建設に対して全国各地で自動車を優先し、人間を無視した施設として住民からの訴訟が起きた。しかし、裁判の結果はすべて住民側の敗訴となり、これにより歩道橋の改善策を考える機会を失った。

4. 転換期1975～1984年（昭和50年代）

大需要に対する供給は70年代前半で終え、その後の建設数は激減した。そして、歩道橋は既存道路に設置する時代から、新道路建設時に設置され



写真9 白山歩道橋（複雑な平面形状：新潟市）



写真10 セントラルブリッジ（名古屋市）

る時代となり、大規模な住宅開発地や、駅前広場などの交通拠点に建設された。また歩道橋として初の土木学会田中賞を蓮根歩道橋が1977年に受賞した。この賞は設計・美観などで優れた特色を持つ橋梁等に与えられるもので詳細は後述するが、この期を境に標準形式から脱却し、橋梁美を意識し始めて量から質を求める時代となる。さらに、街路景観が重視され、周囲環境に対して強調するタイプのアーチ橋および斜張橋と、融和するタイプの連続ラーメン形式との二分化が起こった。

●個性化への目覚め

量産期後半から現れた脱標準形式の新たな歩道橋の本格的な建設が始まった。歩道橋に一般橋梁を縮小したような構造形式が導入された。これにはアーチ橋や斜張橋（写真10）、そして連続箱桁橋が採用された。しかし、縮小した構造形式は部



写真11 蓮根歩道橋（東京都板橋区）



写真12 蓮根歩道橋の主桁部



写真5 明徳町歩道橋（アーチ形式：岐阜市）

生徒の交通安全を目的として19カ所の歩道橋を建設した。しかし限られた財源で、あわせて鋼材が高価なためできるだけ少ない材料で済む構造形式が考えられた。また架設も人力で行う時代であり、軽量化が重要な課題となった。その結果、規格化されたトラス形式（写真3）が13橋、ラーメン形式（写真4）は3橋、そしてアーチ形式（写真5）が2橋など、ユニークな構造形式の歩道橋が建設された。写真のトラス形式は軽量で架設性に優れ、全国的な標準形式の候補になったが、最終的には製作日数や加工経費の問題により外されることになった。

2.3 首都東京および兵庫の場合

ローマオリンピック（1960年）の視察から帰国した都知事は、ローマ市内の横断歩道用の仮設橋を見て、東京に導入しようと検討したが建設は見送られてしまった。しかし、1964年の東京オリンピック開催に向けて、道路拡幅と主要交差点の立体化により、当時の建設省が国道20号、246号などに歩道橋を建設するに当たり、大量建設のため写真6のような規格化されたラーメン形式の歩道橋を採用した。

関西の重要幹線となる国道43号は、建設省により1964年から建設が始まり、同時に15橋の歩道橋が架けられた。道路幅員は上下あわせて8車線で、これを横断するために歩道橋の橋長は大きくなり、写真7に示すような2径間門形ラーメン形



写真6 国道246号の歩道橋（東京都港区）



写真7 国道43号の歩道橋（兵庫県）

式を規格化した。当時としては最先端の塑性設計法によりH形鋼材を使用したスレンダーな形式となった。この構造形式の歩道橋は、1995年の兵庫県南部地震ではこの国道周辺が激震地帯となったが、それに耐えることができ優れた性能を有していることを証明した。

3. 量産期1968～1974年（昭和43年～49年）

高度経済成長により自動車交通量が増大し、交通事故が急増したため、全国各地で歩道橋建設の強い要望が出た。また萌芽期において各都市で独自の設計規準が作られ、これを全国統一する必要があった。そこで1965年に国の設計指針および標準形式を整備し、それにより標準形式の歩道橋が全国各地に大量建設された。標準形式は既製の形鋼材を組み合わせたもので、材料加工をできるだけ省き、建設時間を短縮した。

3.1 標準形式について

歩道橋の標準化は合理性を追求したもので、写真8のように形鋼材を単純に組み合わせた形式を採用し、意匠的には充分といえるものではなかった。しかし機能性、施工性の条件を満たしており、当時の社会情勢を考えれば妥当な措置であった。

この標準形式の歩道橋は生産性を上げるため、桁にはI形鋼材、橋脚はパイプ鋼材、そして昇降



写真8 標準形式の歩道橋

たもので、江戸時代から技術を伝承している錦帯橋（写真1）や街道に架かる橋から庭園橋まで幅広く考えられる。しかし、簡単にいえば歩道橋はモータリゼーションの発展から生まれ、1850年代にはロンドンやニューヨークに存在していたようである。わが国ではその1世紀後の1959年（昭和34年）に前述の清須市（旧西枇杷島町）で建設されている。ここでは歩道橋の構造形式を視点に、その変遷を紹介する。

最初の横断歩道橋が架けられてから数年後には隣接都市および他都市で建設され始めた。これを萌芽期と称し1959～1967年（昭和34年～42年）とする。自動車交通量が増大し、交通事故が急増したので全国各地で歩道橋建設の強い要望が出た。そこで1965年に旧建設省が設計指針と標準形式の統一化を行い、標準形式の歩道橋が全国各地に大量に建設された。1968～1974年（昭和43～昭和49年）の7年間に、既存歩道橋の70%が建設され、これを量産期とする。歩道橋の大需要に対する供給は70年代前半で終え、その後、建設数は激減した。そして、1977年には歩道橋としては初の土木学会賞を受賞し、量から質へ移行する時代を迎えた。これを転換期と称し1975～1984年（昭和50年代）とする。これ以降は社会資本の充実が求められ、歩道橋は快適性や利便性を考慮するため多機能化し、同時に大型化してランドマークとして街路景観に進出した。これを成熟期の1985年以降（昭和60年以降）とした。以上のように全体を4期に分けて変遷をみることにする。

2. 萌芽期1959～1967年（昭和34年～42年）

わが国最初の歩道橋は1959年に誕生し、その後、岐阜市内、兵庫県内および東京都内で建設された。この期は大量建設が始まる以前の萌芽期に当たる。設計基準がなく、高価な鋼材使用量を抑えるため、材料加工を多用した構造形式が多い。



写真2 西枇杷島歩道橋（わが国最初の横断歩道橋：清洲市）

また多種多様の形式が誕生した。

2.1 横断歩道橋の出現

交通安全施設として生まれた最初の歩道橋は写真2のように1959年6月に現清須市西枇杷島にある国道のT字形交差点に建設された。この付近には小学校と中学校があり、自動車交通量が多く、道路横断は大変危険なものであった。1956年頃から両校の教育関係者が国道横断の改善を要求した結果、通学児童の安全を目的に歩道橋建設が許可された。この歩道橋の構造形式は、一般橋梁の単純桁を準用したもので安全性の過剰な配慮から、歩道橋の構造特性を持つようなものではなかった。

2.2 岐阜市の場合

岐阜市は上記の歩道橋を設置した町に隣接する都市で、当時の実行力のある市長により通学児童



写真3 第4号竜興町跨道橋（トラス形式：岐阜市）



写真4 第22号大条歩道橋（ラーメン形式：岐阜市）

名称：西枇杷島跨道橋
位置：愛知県西枇杷島町 二見町交差点 旧国道22号
構造：鋼単純桁 階段一体型コンクリート橋台
規模：全長：46.2m（階段を含む）、幅員：2.5m、 高さ：5.0m
開 通 式：1959(昭和34)年6月27日
渡り納め式：2010年(平成22)年3月12日