

掛戸橋梁での風観測見学印象記

(株)畑村創造工学研究所

代表 畑村洋太郎

見学日 : 2017 年 3 月 21 日 (火) 曇り→雨 ～ 22 日 (水) 晴れ

見学者 : (株)畑村創造工学研究所 代表 畑村洋太郎 他 4 名

見学地 : 大田市駅, 掛戸橋梁, 小田駅

行程 (図 1) : 2017 年 3 月 21 日 (火)

09:55 羽田空港発 JAL279 便

11:20 出雲縁結び空港着

12:10 昼食 出雲そば

13:10 出雲大社参拝

14:30 大田市駅にて打合せ (30 分)

大田市駅ドップラーレーダー見学 (30 分)

掛戸橋梁見学 (30 分)

小田駅ドップラーレーダー見学 (5 分)

18:00 玉造温泉 佳翠苑皆美館着

18:45 意見交換会・夕食 宿泊

2017 年 3 月 22 日 (水)

09:00～10:20 松江駅会議室にて議論

10:45 松江城見学

12:00 境港にて昼食

水木しげるロード散策

14:15 米子鬼太郎空港発 ANA1088 便

15:35 羽田空港着

観光 : 出雲大社, 松江城, 境港と水木ロード

記録 : 2017 年 4 月 8 日



1. 一連のプロジェクトの由来

風で列車が吹き飛ばされる事故が起こり、それからこのドップラーレーダーによる風観測のプロジェクトが始まった。

○ 余部鉄橋事故

1986 年に山陰本線の余部鉄橋の上で列車が突風に飛ばされて、橋の下にある蟹の加工工場の上に落下し、車掌 1 人と工場の従業員 5 人が亡くなるという事故があった。

私は戦争中に鳥取に疎開していたが、鳥取から東京に帰るときにこの鉄橋の上を通った。それから約 5～6 年経った後に鳥取に行ったときにも、この余部鉄橋の上を通ったことを覚えている。そのとき、すごいところに鉄橋を作ったものだと思ったが、親戚の叔父が「ものすごく苦労して作った鉄道なんだよ」と話してくれたことを覚えている。なぜ蟹の加工工場の上に鉄橋を作り、そこに鉄道を通さなければならなかったのか、それがとても不思議だった。それは以下のような理由だった。

余部橋梁が完成したのは約 100 年前の 1912 年である。当時の日本の周辺の状況を考えると、アジア全体が領土の拡張を狙う強大国の競争の場になっており、ロシアの東方進出に対抗する必要があった。日本は大陸からの軍事的圧力に対抗するため、兵員や武器、日常物資の輸送に日本海側の海岸線に沿う鉄道が必須であった。そうしてできたのが山陰本線である。

山陰本線の余部鉄橋付近は海岸線の出入りが激しく、山が直接海に落ちる地形で、現在は国立公園にもなっている風光明媚な美しい海岸である。そのため、この辺りでは海岸線に沿って線路を通すことができず、内陸を通すしかなかった。

内陸を最短経路で走ろうとすると山腹を一気に抜ける長大トンネルを作らなければならな

いが、当時は長大トンネルを作る技術がなかった。恐らく 800m? とか 1km? が最大の長さだったろうと思う。

一方、当時はまだ蒸気機関車しかなかったが、蒸気機関車は登坂能力が低く、傾斜のきついところは走れない。やむなく高いところまで走らなければならないときは、傾斜の緩やかな坂道を登るしかなかった。

そこで、この区間は、傾斜の緩やかな長い坂路を作り、できるだけ山の高い所まで上ってからトンネルで抜ける経路で線路を通すことになった。香住駅から登り始め、トンネルを抜け、浜坂駅に向かって下るという経路で線路が敷かれた。このような経路にすると、途中の余部の集落の辺りの谷間は鉄橋で越えるしかなかった。こうして出来上がったのが余部鉄橋なのである。

橋梁の形式は、当時鉄筋コンクリート製の橋梁の建設は世界的にも稀だったため、鋼製トレススル橋が選定された。しかし、当時の日本には圧延による鉄板や型钢を作る設備も技術も十分にはなかった（官営八幡製鉄所が稼働し始めたのは 1901 年である）ため、鉄橋を作るための鉄板や型钢をアメリカから輸入した。鉄橋の完成後も、塩害による腐食を防ぐために常時鉄橋を塗装するなどの保守が必要であった。そのため、余部鉄橋ができあがってから、今のコンクリート橋に建て替わるまでの約 100 年間、鉄橋のペンキ塗りなどの保守だけを仕事とする専門チームが働き続けた。余部鉄橋はそんな日くのある鉄橋だったのである。

○ 羽越線脱線事故調査で考えたこと

2005 年 12 月 25 日に JR 東日本の羽越本線の北余目駅と砂越駅間の第二最上川橋梁付近で特急列車が竜巻に吹き飛ばされ、脱線して 5 人の方が亡くなるという事故があった。私は、個人的に事故の原因調査を行い、現地に行って色々な人の話を聞き、議論したが、そのとき気が付いたことがある。それは「鉄道関係者は線路に沿ってしかものを見ないし考えない」ということである。鉄道関係者は、鉄道に沿って風速計を付け、強風が観測されたら鉄道を止めると考える。また、防風柵を作ったり、シェルターで囲んだりして風害を防ぐことを考える。しかし、私はそれでは不十分だと思った。

鉄道が風で飛ばされるのを防ぐには、線路と直角方向のある程度離れた場所で風を観測し、風が強くなるのを事前に察知して鉄道を止めなければならないと思うが、それには「鉄道という線に沿って考える」という考え方からもう 1 次元増やして、面で考えることが必要である。要するに、鉄道を運営する人達が面情報の必要性を感じ、実行しなければならない。

今から約 40 年前の 1978 年に、営団地下鉄東西線で荒川の鉄橋の上で電車が風に吹き飛ばされて脱線するという事故があったので、鉄道の直角方向からの風に注意する必要性に JR 東日本も気付いていたはずである。羽越線の事故後、JR 東日本が直角方向の風を調べるというプロジェクトを実施したことは聞いたが、私自身はそれには何も関係していないので、どのような結果になったかは知らない。

○ JR 西日本の“面的な風データ活用”のためのプロジェクト

一方、JR 西日本の場合は、私は福知山線の事故後、色々と助言をする立場になっており、

鉄道の関係者が、線路に沿った線情報だけでなく面情報を把握する必要があるということを提言した。JR 西日本の安全推進部では、余部鉄橋の突風を事前に把握できるシステムがあれば、安全な運行が可能になると共に、強風による運転規制を最小限にすることができるのではないかと考え、観測実験を行うことになった。

そこで、今回見学した掛戸川の風観測に先だって、2012 年 3 月から 2014 年 3 月まで余部鉄橋の列車の運行に影響を及ぼす北西の季節風の観測を行った。余部鉄橋の北西 1.2km と 2.6km の 2 地点に高さ 23m の鉄柱を立て、風速・風向を測り、余部鉄橋で実測される風速・風向との関係を調べた。風向きについては、上空や海上と違って、地上付近では地形の影響を受ける。特に余部付近の地形は複雑なため、データの活用が難しいことが分かった。また、観測 2 地点は鉄橋に近すぎて、観測 2 地点と鉄橋での強風発生時刻に明らかな差がなく、観測 2 地点のデータによってリアルタイムに鉄橋の運転規制をするのは難しいということになった。海の上で風（空気）の固まりができて、それが季節風に乗って飛んできて余部鉄橋にぶつかるというモデルでは、風の状況の予知をする、または鉄道を止めるために必要な情報を得ることは無理だということになった。

そこで、直接風の 3 次元的な速度分布を知る必要があるのではないかと考え、ドップラー効果を利用したレーダーによる観測を試みることになった。

2. ドップラーレーダーによる風観測

(1) 概要

2015 年 12 月から 2017 年 3 月まで（資料には、2015 年 12 月から 2016 年の 12 月まで行ったデータが掲載されているが、実際は 2014 年の秋から 3 年間）、JR 西日本では、鉄道総研の協力を得て、掛戸橋梁でドップラー効果を利用したレーダーによる風観測を行った。これは、2 地点から波長 3cm の電波を発射し雨粒にぶつかって戻ってくる電波の周波数の差から雨滴の移動速度を知り、そこから風向風速を演算して求める方法である。

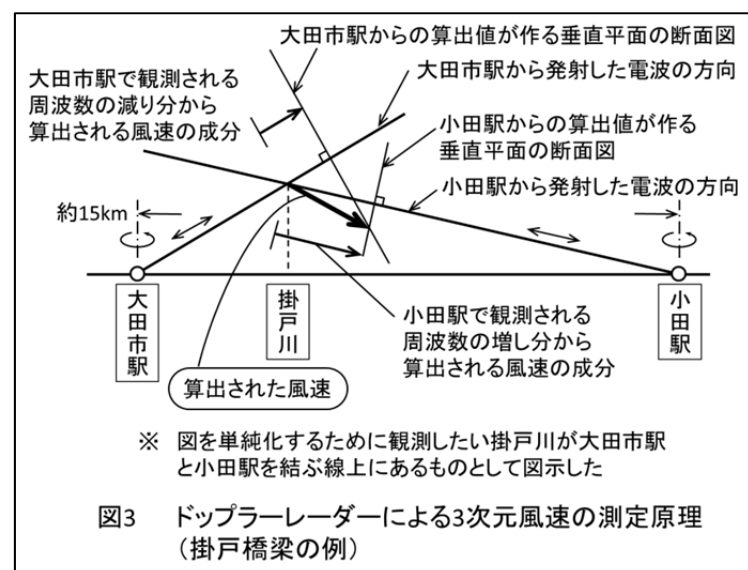
この測定法にはいくつかの前提がある。一つは電波を反射するトレーサー（雨滴）が存在することである。もう一つは風速と雨滴の移動速度が同じだと考えていることだが、その通りになっているかどうかは、実測値を元に確認しなければならない。2015 年 12 月から 2016 年 12 月までの 1 年間に 22 例の強風事例が測定できたが、地上 1500m, 1000m, 500m, 地上と測ってみると、上空は高さによらずほぼ同じような風が吹いているが、地上では風速が落ちていることがわかる。地上 20m とか 50m までは接地境界層で、地表面の形状や表面状態の影響を強く受けるが、上空では抵抗を受けずに風が吹いている状態になっていると考えられる。

また、雨粒がなければドップラーレーダーの標点（トレーサー）がないため観測ができないが、実際観測中に雨がやみ、観測できなくなることがあったそう。結局、ドップラーレーダーによる観測では、強風時の 3 次元の風向・風速の情報を安定して取れないため、この装置での観測を運転規制に直接に活用するのは無理で、実用展開するのは終了するという事になった。

(2) ドップラーレーダーの原理の概略

2 台のドップラーレーダーと掛戸橋梁の位置を図 2 に、私が考えたドップラーレーダーの原理の概略を図 3 に示す。3 次元の状態の図を描こうとしたが、あまりに複雑で分かりにくいので断念した。図を単純化するために、ドップラーレーダーが設置されている大田市駅、小田駅、および掛戸橋梁は一直線上にあるものとした。大田市駅に設置したドップラーレーダーの写真を図 4、5 に、小田駅のドップラーレーダーの写真を図 6 に、観測地点である掛戸橋梁の写真を図 7、8 に示す。

図 3 は、これら 3 地点が一直線上にあるものとしてそのメカニズムを図に表したものである。15km 離れている大田市駅と小田駅にドップラーレーダーのドームを設置し、そこから波長 3cm のマイクロ波を発射し、その反射波を測り、周波数の変化分から風速を算出する。例えば、北西の季節風を考えると、大田市駅から発射して雨粒に反射して戻って来た電波の周波数の減り分から算出される風速の成分が存在する平面が紙面に垂直に立っていて、この電波と直交している。同じく、小田駅から発射され雨粒に反射して戻って来た電波の周波数の増し分から算





出される平面は図に示したような形になり、電波の発射方向に垂直な平面（ここでは直線で表した）の直交する方向に風が吹いていることになるので、図中の太線で示した風速が算出されることになる。

実際には大田市駅のレーダーも小田駅のレーダーも電波の発射方向が 360° 回転するので、地上のそれぞれの発射点から 30km 位のところまでの風速がわかることになる。ただし、ここでも図示したように、3 次元的な方向を持っているので、実際の風速は地表面に平行な方向の成分だけで表示するというものになっているのだろうと思う。



(3) 掛戸橋梁近傍での風況測定を選んだ経緯

風測定の実験場所に掛戸橋梁を選んだ経緯は次の通りである。

国内の鉄道会社は、羽越本線の事故後、1 分間の連続した瞬間最大風速が 25m/sec を超えると列車を止めるという運行規制を行っている。運行規制は鉄道に沿って設置された観測計の値によって行われる。

JR 西日本は金沢と大阪を結ぶ北陸新幹線の経路選定と実際の運用で、風が問題の一つになると考えている。現在営業している北陸本線でも、冬の季節風のために運行に支障をきたすことがあり、そのために風況観測を行うことで鉄道を安全に運行すると共に、規制時間をなるべく短縮したいという希望を持っている。

そこで JR 西日本では、風況を観測し、現地の風速が規制値になる前に予測ができるシステムの構築をめざし、マイクロ波を利用したドップラーレーダーによる風観測実験を行った。北陸本線には強風により運行規制されることが多い区間があるため、そこで実験するのが一番望ましいが、マイクロ波によるドップラーレーダーの設置は許可されなかった。しかたなく運転規制が行われることの多い他の場所で、なるべく平坦な場所を探し、掛戸橋梁を実験場所として選び、その前後の大田市駅と小田駅にレーダーを設置することにした。

4. ドップラーレーダー方式採用の評価

この実験結果の説明を受けて、いくつかのことを考えた。

まず、余部での実験について、2 地点の風況の相関で評価するという説明を受けたが、私は 2 つのことの相関という意味がわからなかった。2 つの場所の同時刻の風況の相関を見るのか、どこかの地点の空気が動いていつか次の地点に到達するという考えをするのかどうかはわからなかった。もしこのような視点が入っているのであれば、このようなやり方では実験をやってもしかたがないと断念するのは妥当なことだと思う。しかし、実験データから、何か固まりのようなものが移動していくモデルを作ることはできないだろうか。

今回の実験のドップラーレーダーは 1 基が 2700 万円で、実際の鉄道の強風観測地点すべて

に実装するにはとても高価過ぎて使えないということだった。同行者の一人は、自動車の自動運転では、ここで使っているようなマイクロ波レーダーによって進行方向の状況进行を判断し、衝突回避措置をとることを考えているが、自動運転技術が普及すれば、このドップラーレーダーで使用する様々な要素が格段に安くなるだろう、という意見を述べていた。例えば 1/100 になったら、2700 万円／基が、27 万円になることになる。

鉄道の人達は線路に沿ってしかものを考えないという指摘をして、今回のような横方向の風も考えようというようになったのと同じく、他分野で行われている進歩を取り込むことによって、こういう技術が様変わりする可能性がまだまだ残っているような気がする。せっかくここまで来たのだから、測定や実験の継続をするのが良いし、もう一つ「視点の多様化」というような考えを取りこむと良いのではないかと思う。

5. 見学前後の観光で思ったこと

(i) 出雲大社

出雲大社に参拝した。また、現在は廃線になっている山陰本線からの分岐線の「大社駅」という駅にも行ってみた。昔はとても賑わっていたそうだ。出雲大社には相変わらず多くの人が参拝に来る。日本の国民の中のとても大事な信仰に根ざしているから、お参りし続けるのだと思う。

昔、境内の中の本社は高いところにあり、そこまで登っていくために 50m か 60m の高さの階段があった。そしてそれを支えていた直径 1.5m くらいの丸い 3 本の柱があってその跡が示してあった。

出雲大社にお参りしたことは何回かあるが、前回来たときに何か柱を掘っているところを見たような記憶があるが、あまり定かではない。3 本の柱を束ねるときにどのように繋いでいたのかというのが気になった。というのは、余部鉄橋の話で述べたように、日本には昔は圧延技術がなく、叩き出しで伸ばす技術しかなかった。圧延がないと、線とか条とか薄板というものが作れない。3 本の柱を束ねるから強さが出ているのであれば、いったいどのように繋いだのだろうか？と疑問に思った。

(ii) 松江城

日本にお城はたくさんある。その多くは明治になったときにほとんど取り壊されてしまった。そのうち残っているものの 1 つが姫路城だと聞き、すごいなと思っていた。今回の見学行で松江城に行くと聞き、松江城といってもコンクリートでできた城か何かだろうとたいして興味を持たなかったが、行ってみるとそうではなかった。木で出来ている本物のお城で、国宝になっているそうだ。随分、自分は浅はかだったと思った。

中に入ってみると、百数十本ある縦の通し柱の内、半分以上が組合せ材になっており、それらの組み合わせには「カスガイ」が使っていた。タガは作れなかったのだろうか？桶が桶としての役目を果たすのはタガがあるからである。桶はまず竹でタガを作っておいて、そこに板を軸方向にたたき込んでいく。最後にはタガはパンパンに張り、外側をタガ

が締め上げている構造になっている。だから桶は上の直径が大きく、下側が細い構造になる。これと同じように柱にタガを使えばよいと思うが、圧延の技術がなく、鉄が使えないならやりようがない。結局カスガイしかなかったのかなと思った。

しかし、このような組合せ材・集成材の柱の方が横方向の変形にフレキシブルに対応ができて、具合が良かったのかもしれないとも思う。縦に組合せた柱の接合面に潤滑剤を塗っているのか、それとも糊でくっつけて面方向にずれないように工夫をしたのか、どうなっているのか不思議な気がした。仮に糊を使っていたとすると、虫が食うとか、湿気でダメになるとか、そんな難しいことも考えたのだろうかと思った。

(iii) 境港と水木ロード

境港に行ってみた。ここが島根県ではなく鳥取県だということは知っていたし、日本一の水揚げ量の港であることも知っていた。結局、魚市場には行かなかったが、こんなところに日本一の漁港があるなんていうことは信じられない。日本中のどこの港を見ても、凹型の地形の場所に岩壁を築いて船着き場としているが、境港は兩岸が平行になっており、遠くから見ると運河のような形になっている。水路は水深が深く、船が通過したり、接岸したりできる。この構造がよく理解できず、とても不思議な気がした。

街中には、ここの出身者である水木しげるを記念した通りがあり、「水木ロード」という名前が付いていた。あちらこちらに妖怪の石像やそれをあしらった様々なものが展示されており、歩いていてとても面白かった。30年前に「ゲゲゲの鬼太郎」というマンガが流行っていたときに、妖怪などという変なものをマンガにする人って何なのだろうと違和感を覚えていたが、ここに来て歩いてみるととても楽しい。こういう町を作って「水木ロード」と名付け、それを観光資源として使うというのは随分知恵のある人達だなと思った。このように人々の興味に対応して街づくりをするというのは、今私が考えている「価値の世界の見つけ方」を実践しているようなものだと思う。

<謝辞>

今回のような見学をさせてもらって本当に有難く思っている。感じたことを口にしたら、その通りに実行する人達がいて、しかもその結果を見せてもらえるというのは最高の幸せである。このような面白い研究・実験を知ると、益々元気が出てくる。今回お世話になった方々、皆に感謝したい。ありがとうございました。

以上