

福井県の一般環境下、塩害、ASR、凍害の影響を受ける橋梁の劣化特性*

谷脇 一弘^{*1}

Deterioration Characteristics for Bridges in Fukui Prefecture under Conditions of General Environment, Salt Damage, ASR and Freezing Damage

Kazuhiro TANIWAKI^{*1}^{*1} Faculty of Engineering, Department of Architecture and Civil Engineering

The deterioration characteristics of bridges have been clarified with progress of inspection of bridges in Fukui prefecture. In this study, the deterioration transfer curves of member elements are introduced for the bridges in Fukui prefecture under conditions of general environment, salt damage, ASR and freezing damage. The differences of characteristics are discussed for bridge types under several conditions. The geographical deterioration characteristics are clarified by comparing the geographical distributions of bridge deteriorations shown in GIS.

Key Words : Deterioration characteristics, Deterioration transfer curve, salt damage, ASR, freezing damage

1. 緒 言

福井県が管理する橋梁は2017年度末で2363橋、このうち橋長15m以上の橋梁は818橋となっている。2014年には、国土交通省により橋梁定期点検要領の抜本的改訂が行われ、その後種々の改訂を経て現在の橋梁定期点検要領¹⁾に従い、各自治体は定期点検を行うことが法制化された。この定期点検要領では、資格保有者が5年に1度近接目視により橋長2m以上の橋梁を点検すること、点検結果は4段階により評価することが義務付けられている。福井県はこの橋梁定期点検要領に従って福井県独自の点検マニュアル²⁾を作成して2014年から橋長2m以上の橋梁の法定点検を開始し、2018年に一巡目の点検を終了した。

本研究では、この点検結果を用いて、ボックスカルバート、トラス橋、アーチ橋等の特殊な橋梁を除いた長寿命化修繕計画³⁾により維持管理を行う橋梁を対象として、RC床版橋、PC床版橋、RC桁橋、PC桁橋、鋼橋、鋼床版鋼橋の橋梁形式に分類し、これらの橋梁の床版、主桁、横桁、下部工の劣化曲線を導入することにより劣化の特性を明らかにするとともに、GISを用いてこれらの橋梁の地域分布を示し、劣化の地域特性について考察を行うものである。また、橋梁群を、一般環境下、塩害・ASR・凍害の進行性劣化の影響を受ける橋梁に分類し、それぞれの場合について劣化の特性を明らかにしている。

2. 劣化曲線の導入

法定点検では、健全度Ⅰ、健全度Ⅱ、健全度Ⅲ、健全度Ⅳの4段階で橋梁の健全度を評価している。本研究では、点検結果より、RC床版、PC床版、鋼床版、RC主桁・横桁、PC主桁・横桁、鋼主桁・横桁、下部工の各部位の劣化曲線を次の3次関数式を想定して導入した^{4),5)}。

$$y(a) = at^3 + 1 \quad (1)$$

ここに、 $y(a)$ は健全度、 t は橋齢を示す。

係数 a は、点検結果と予測値の誤差の二乗和 $f(a)$ を最小二乗法により求める。

* 原稿受付 2021年4月28日

^{*1} 工学部 建築土木工学科

E-mail: taniwaki@fukui-ut.ac.jp

$$f(a) = \sum_{i=1}^n \{\bar{y}_i - y_i(a)\}^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

ここに、 n は橋梁数、 \bar{y}_i は橋梁 i の点検結果

式(2)の極値の条件より、係数 a は式(3)より求められる。

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i \cdot t_i^3 - t_i^3)}{\sum_{i=1}^n t_i^6} \quad (3)$$

すべての橋梁を対象として(3)式により、「標準(standard)」の劣化曲線の係数を求めた場合には、健全度が I のデータの影響を大きく受け、全体に劣化曲線が緩やかになる傾向にあり、「標準(standard)」の劣化特性の領域に含まれる橋梁数が少なくなるため、本研究では、健全度が I の橋梁は「標準(standard)」の劣化曲線の係数の計算には含めないこととした。

上で求めた「標準(standard)」の劣化曲線の範囲は、以下に示す境界の曲線の領域内とした。ここに、本研究では係数 β を 1.6～2.0 の値とし、標準として 1.8 を用いている。

$$y(a) = \beta a t^3 + 1 \quad (4)$$

$$y(a) = \frac{1}{\beta} a t^3 + 1 \quad (5)$$

式(4)の境界式より、外側の領域に属する橋梁を対象として再度式(3)により劣化曲線の係数を求め、この劣化曲線を劣化が「速い(fast)」曲線とした。式(5)の境界式より、外側の領域に属する橋梁を対象として再度式(3)により劣化曲線の係数を求め、この劣化曲線を劣化が「遅い(slow)」曲線とした。

さらに、床版、主桁、下部工において、劣化の分布領域が広く劣化が「速い(fast)」曲線では表現しきれていない場合には、劣化が「速い(fast)」曲線を適用する境界式を式(6)で求め、この境界式よりさらに外側の領域に属する橋梁を対象として再度式(3)により劣化曲線の係数を求め、この劣化曲線を劣化が「超速い(rapid)」曲線とした。

$$y(a) = \gamma a_f t^3 + 1 \quad (6)$$

ここに、 $\gamma = \frac{a_f}{\beta a_s}$ 、 a_f は劣化が「速い(fast)」曲線の係数、 a_s は「標準(standard)」の劣化曲線の係数を示す。

以上により、劣化の特性を「超速い(rapid)」、「速い(fast)」、「標準(standard)」、「遅い(slow)」の 4 種類の劣化曲線を用いて表現することとした。

3. 一般環境下、塩害、ASR、凍害の影響を受ける橋梁の各部位の劣化曲線

本研究では、一般環境下および塩害、ASR、凍害の進行性劣化の影響を受ける橋梁の内、ボックスカルバート、トラス橋、アーチ橋等の特殊な橋梁を除き、長寿命化修繕計画により維持管理を行う橋梁を、RC 床版橋、PC 床版橋、RC 桁橋、PC 桁橋、鋼桁橋、鋼床版鋼桁橋に分類し、これらの橋梁の床版、主桁、横桁、下部工の劣化曲線を導入した。本研究で対象とした一般環境下の長寿命化修繕計画により維持管理を行う橋梁の分類を Table 1 に示す。塩害、ASR、凍害の影響を受ける橋梁の分類を Table 2, 3 および 4 に示す。一般環境下では 1245 橋、塩害の影響を受ける橋梁は 90 橋、ASR の影響を受ける橋梁は 56 橋、凍害の影響を受ける橋梁は 83 橋となっている。なお、塩害、ASR、凍害の影響を受ける橋梁に鋼床版鋼桁橋は存在していない。

これらの橋種毎の床版、主桁、横桁および下部工の劣化曲線を導入し、考察を加えた結果について述べる。ここで、RC 床版橋、PC 床版橋は床版部を主桁として表記している。また、下部工については、長寿命化修繕計画により維持管理を行う橋梁すべてを対象として劣化曲線を導入している。

Table 1 Bridge number under condition of general environment

| Bridge type | number |
|--------------------------|--------|
| RC slab bridge | 501 |
| PC slab bridge | 30 |
| RC girder bridge | 93 |
| PC girder bridge | 360 |
| Steel girder bridge | 251 |
| Steel slab girder bridge | 10 |
| Total | 1245 |

Table 2 Bridge number subjected to salt damage

| Bridge type | number |
|---------------------|--------|
| RC slab bridge | 38 |
| PC slab bridge | 3 |
| RC girder bridge | 4 |
| PC girder bridge | 41 |
| Steel girder bridge | 4 |
| Total | 90 |

Table 3 Bridge number subjected to ASR

| Bridge type | number |
|---------------------|--------|
| RC slab bridge | 7 |
| PC slab bridge | 0 |
| RC girder bridge | 2 |
| PC girder bridge | 28 |
| Steel girder bridge | 19 |
| Total | 56 |

Table 4 Bridge number subjected to freezing damage

| Bridge type | number |
|---------------------|--------|
| RC slab bridge | 33 |
| PC slab bridge | 1 |
| RC girder bridge | 9 |
| PC girder bridge | 19 |
| Steel girder bridge | 21 |
| Total | 83 |

3.1 一般環境下の橋梁の劣化曲線の係数

Table 5 Coefficient a in deterioration transfer curves and time reaching at the stage IV for each bridge type under condition of general environment

| Bridge type | Feature | Coefficient a | | | Time reaching at the stage IV (year) | | |
|--------------------------|----------|---------------|-------------|-----------|--------------------------------------|-------------|-----------|
| RC slab bridge | Slow | 7.692E-07 | | | 157 | | |
| | Standard | 3.775E-06 | | | 93 | | |
| | Fast | 1.019E-05 | | | 67 | | |
| | Rapid | 2.070E-05 | | | 53 | | |
| PC slab bridge | Slow | 4.074E-06 | | | 90 | | |
| | Standard | 2.532E-05 | | | 49 | | |
| | Fast | 7.715E-05 | | | 34 | | |
| | | Slab | Main girder | Crossbeam | Slab | Main girder | Crossbeam |
| RC girder bridge | Slow | 4.822E-07 | 5.788E-07 | 3.542E-07 | 184 | 173 | 204 |
| | Standard | 3.671E-06 | 4.432E-06 | 3.612E-06 | 93 | 88 | 94 |
| | Fast | 1.047E-05 | 1.128E-05 | 9.550E-06 | 66 | 64 | 68 |
| | Rapid | 4.317E-05 | 3.242E-05 | 2.096E-05 | 41 | 45 | 52 |
| PC girder bridge | Slow | 1.162E-06 | 1.049E-06 | 2.302E-07 | 137 | 142 | 235 |
| | Standard | 7.174E-06 | 8.577E-06 | 9.517E-06 | 75 | 70 | 68 |
| | Fast | 2.401E-05 | 2.406E-05 | 3.340E-05 | 50 | 50 | 45 |
| | Rapid | 6.858E-05 | 6.112E-05 | 9.954E-05 | 35 | 37 | 31 |
| Steel girder bridge | Slow | 9.021E-07 | 2.027E-06 | 1.080E-06 | 149 | 114 | 141 |
| | Standard | 6.490E-06 | 8.589E-06 | 6.610E-06 | 77 | 70 | 77 |
| | Fast | 1.710E-05 | 2.169E-05 | 1.840E-05 | 56 | 52 | 55 |
| | Rapid | 5.055E-05 | 5.528E-05 | 4.786E-05 | 39 | 38 | 40 |
| Steel slab girder bridge | Slow | | | | | | |
| | Standard | 1.174E-06 | 7.693E-06 | 2.885E-06 | 137 | 73 | 101 |
| | Fast | | | | | | |
| Substructure | Slow | 3.890E-07 | | | 198 | | |
| | Standard | 4.505E-06 | | | 87 | | |
| | Fast | 1.329E-05 | | | 61 | | |
| | Rapid | 3.701E-05 | | | 43 | | |

Table 5 に一般環境下の橋梁の各部位の劣化曲線式の係数 a および健全度IVに到達するまでの年数を示す。RC 床版橋の劣化は「超速い(rapid)」場合でも、健全度IVに達する時間は 53 年を要しており、橋長も短く比較的劣化は緩やかであるが、対象は 52 橋と多い。PC 床版橋の劣化が「速い(fast)」場合は、13 橋存在し、その劣化速度は健全度IVに達する時間が 34 年と非常に速くなっているが、健全度IIIに至っている橋梁は存在しない。RC 桁橋では、劣化が「超速い(rapid)」場合は健全度IVに達する時間は 41 年~52 年となっている。特に床版、主桁の劣化が「超速い(rapid)」橋梁が 6 橋存在する。PC 桁橋では、「超速い(rapid)」場合の健全度IVに達する時間が 31 年~37 年と非常に速くなっている。また、「速い(fast)」場合でも 50 年以下でありこれらに多くの橋梁が存在している。鋼桁橋では、「超速い(rapid)」場合は健全度IVに達する時間は 40 年程度となっており、塗装の劣化が主たる要因である。また、「速い(fast)」場合は 56 年程度で健全度IVに達する速度となっており、この領域に多くの橋梁が存在している。下部工で「超速い(rapid)」劣化の場合の健全度IVに達する時間は 43 年となっている。この対象の橋梁は 222 橋と多い。

3.2 塩害の影響を受ける橋梁の劣化曲線の係数

Table 6 に塩害の影響を受ける橋梁の各部位の劣化曲線式の係数 a および健全度IVに到達するまでの年数を示す。

RC 床版橋の劣化はほとんどが健全度 I に属しており、適切な補修も施され健全な状態である。PC 床版橋、RC 桁橋は橋梁数が少なく標準的な劣化の状態である。PC 桁橋では、床版で「速い(fast)」場合に 30 年、主桁で「超速い(rapid)」場合に 32 年で健全度IVに達する試算となっており、この領域に 3 橋存在している。

鋼桁橋は、4 橋のみであり標準的な劣化である。下部工で「超速い(rapid)」劣化の場合の健全度IVに達する時間は 37 年で 13 橋存在している。

Table 6 Coefficient a in deterioration transfer curves and time reaching at the stage IV for each bridge type subjected to salt damage

| Bridge type | Feature | Coefficient a | | | Time reaching at the stage IV (year) | | |
|---------------------|----------|-----------------|-------------|-----------|--------------------------------------|-------------|-----------|
| RC slab bridge | Slow | 0.000E+00 | | | - | | |
| | Standard | 5.261E-06 | | | 83 | | |
| | Fast | | | | | | |
| PC slab bridge | Slow | | | | | | |
| | Standard | 3.021E-06 | | | 100 | | |
| | Fast | | | | | | |
| | | Slab | Main girder | Crossbeam | Slab | Main girder | Crossbeam |
| RC girder bridge | Slow | | | | | | |
| | Standard | 1.865E-06 | 3.682E-06 | 6.008E-07 | 117 | 93 | 171 |
| | Fast | | | | | | |
| PC girder bridge | Slow | 0.000E+00 | 3.289E-06 | 1.106E-06 | - | 97 | 139 |
| | Standard | 1.470E-05 | 1.344E-05 | 1.503E-05 | 59 | 61 | 58 |
| | Fast | 1.111E-04 | 3.525E-05 | 5.155E-05 | 30 | 44 | 39 |
| | Rapid | | 9.041E-05 | | | 32 | |
| Steel girder bridge | Slow | | | | | | |
| | Standard | 1.478E-05 | 1.349E-05 | 1.034E-05 | 59 | 61 | 66 |
| | Fast | | | | | | |
| Substructure | Slow | 3.734E-07 | | | 200 | | |
| | Standard | 5.803E-06 | | | 80 | | |
| | Fast | 1.823E-05 | | | 55 | | |
| | Rapid | 5.959E-05 | | | 37 | | |

Table 7 Coefficient a in deterioration transfer curves and time reaching at the stage IV for each bridge type subjected to ASR

| Bridge type | Feature | Coefficient a | | | Time reaching at the stage IV (year) | | |
|---------------------|----------|---------------|-------------|-----------|--------------------------------------|-------------|-----------|
| RC slab bridge | Slow | | | | | | |
| | Standard | 4.445E-06 | | | 88 | | |
| | Fast | | | | | | |
| PC slab bridge | Slow | | | | | | |
| | Standard | | | | | | |
| | Fast | | | | | | |
| | | Slab | Main girder | Crossbeam | Slab | Main girder | Crossbeam |
| RC girder bridge | Slow | | | | | | |
| | Standard | 1.135E-05 | 1.135E-05 | 1.135E-05 | 64 | 64 | 64 |
| | Fast | | | | | | |
| PC girder bridge | Slow | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | - | - | - |
| | Standard | 8.567E-06 | 8.499E-06 | 8.573E-06 | 70 | 71 | 70 |
| | Fast | 1.997E-05 | 2.078E-05 | 2.033E-05 | 53 | 52 | 53 |
| Steel girder bridge | Slow | 0.000E+00 | 4.310E-06 | 0.000E+00 | - | 89 | - |
| | Standard | 1.442E-05 | 1.673E-05 | 1.880E-05 | 59 | 56 | 54 |
| | Fast | 3.926E-05 | 4.018E-05 | - | 42 | 42 | - |
| Substructure | Slow | 2.554E-06 | | | 106 | | |
| | Standard | 7.744E-06 | | | 73 | | |
| | Fast | 2.123E-05 | | | 52 | | |
| | Rapid | 4.3334E-05 | | | 41 | | |

Table 8 Coefficient a in deterioration transfer curves and time reaching at the stage IV for each bridge type subjected to freezing damage

| Bridge type | Feature | Coefficient a | | | Time reaching at the stage IV (year) | | |
|---------------------|----------|---------------|-------------|-----------|--------------------------------------|-------------|-----------|
| RC slab bridge | Slow | 8.508E-07 | | | 152 | | |
| | Standard | 3.564E-06 | | | 94 | | |
| | Fast | 8.306E-06 | | | 71 | | |
| PC slab bridge | Slow | | | | | | |
| | Standard | 0.000E+00 | | | - | | |
| | Fast | | | | | | |
| | | Slab | Main girder | Crossbeam | Slab | Main girder | Crossbeam |
| RC girder bridge | Slow | | | | | | |
| | Standard | 3.446E-06 | 4.890E-06 | 2.445E-06 | 95 | 85 | 107 |
| | Fast | | | | | | |
| PC girder bridge | Slow | 1.022E-06 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 143 | - | - |
| | Standard | 1.221E-05 | 9.304E-06 | 1.059E-05 | 63 | 69 | 66 |
| | Fast | 4.861E-05 | 2.526E-05 | 5.690E-05 | 40 | 49 | 37 |
| Steel girder bridge | Slow | 0.000E+00 | 1.986E-06 | 0.000E+00 | - | 115 | - |
| | Standard | 8.533E-06 | 1.051E-05 | 7.838E-06 | 71 | 66 | 73 |
| | Fast | 2.359E-05 | 2.348E-05 | 1.686E-05 | 50 | 50 | 56 |
| Substructure | Slow | 1.275E-06 | | | 133 | | |
| | Standard | 6.070E-06 | | | 79 | | |
| | Fast | 1.975E-05 | | | 53 | | |
| | Rapid | 5.9839E-05 | | | 37 | | |

3.3 ASRの影響を受ける橋梁の劣化曲線の係数

Table 7 に ASR の影響を受ける橋梁の各部位の劣化曲線式の係数 a および健全度IVに到達するまでの年数を示す。

RC 床版橋、RC 桁橋は橋梁数が少なく標準的な劣化の状態である。ASR の影響を受ける PC 床版橋は存在しない。PC 桁橋の「超速い(rapid)」場合は、どの部位も 53 年程度で健全度IVに達しており、比較的劣化速度は緩やかである。鋼桁橋の「超速い(rapid)」場合は、42 年で健全度IVに達しており、腐食の劣化の標準的な劣化速度である。下部工の「超速い(rapid)」場合は、41 年で健全度IVに達しており、この領域に 5 橋存在する。

3.4 凍害の影響を受ける橋梁の劣化曲線の係数

Table 8 に凍害の影響を受ける橋梁の各部位の劣化曲線式の係数 a および健全度IVに到達するまでの年数を示す。

RC 床版橋は、「速い(fast)」場合でも健全度IVに達する時間は 71 年と劣化速度は遅い。PC 床版橋は 1 橋のみ、RC 桁橋は 9 橋であり、それらの劣化速度は遅い。PC 桁橋では、「速い(fast)」場合に床版では 40 年、主桁では 49 年、横桁では 37 年で健全度IVに達しているが、床版、横桁の現在の健全度IIIは見られない。鋼桁橋の「速い(fast)」場合は 50 年～56 年で健全度IVに達しており、標準的である。下部工の「超速い(rapid)」場合は、37 年で健全度IVに達しており、この領域に 6 橋存在する。

3.5 PC 桁橋の床版の劣化曲線の比較

一般環境下、塩害・ASR・凍害の影響を受ける PC 桁橋の床版の劣化曲線の比較を Fig.1 に示す。劣化が「超速い(rapid)」,「速い(fast)」,「標準(standard)」,「遅い(slow)」場合の曲線をそれぞれ黄色、青色、赤色、緑色で示している。またそれぞれの境界の曲線を点線で示している。

赤色で示した標準の劣化曲線に着目し健全度IVに達するまでの年数を比較にすると、一般環境下では 75 年、塩害では 59 年、ASR では 70 年、凍害では 63 年と進行性劣化の影響を受ける橋梁では一般環境下の橋梁より劣化速度が速くなっている。特に、塩害の場合には健全度IIIに達した橋梁が多く存在している。

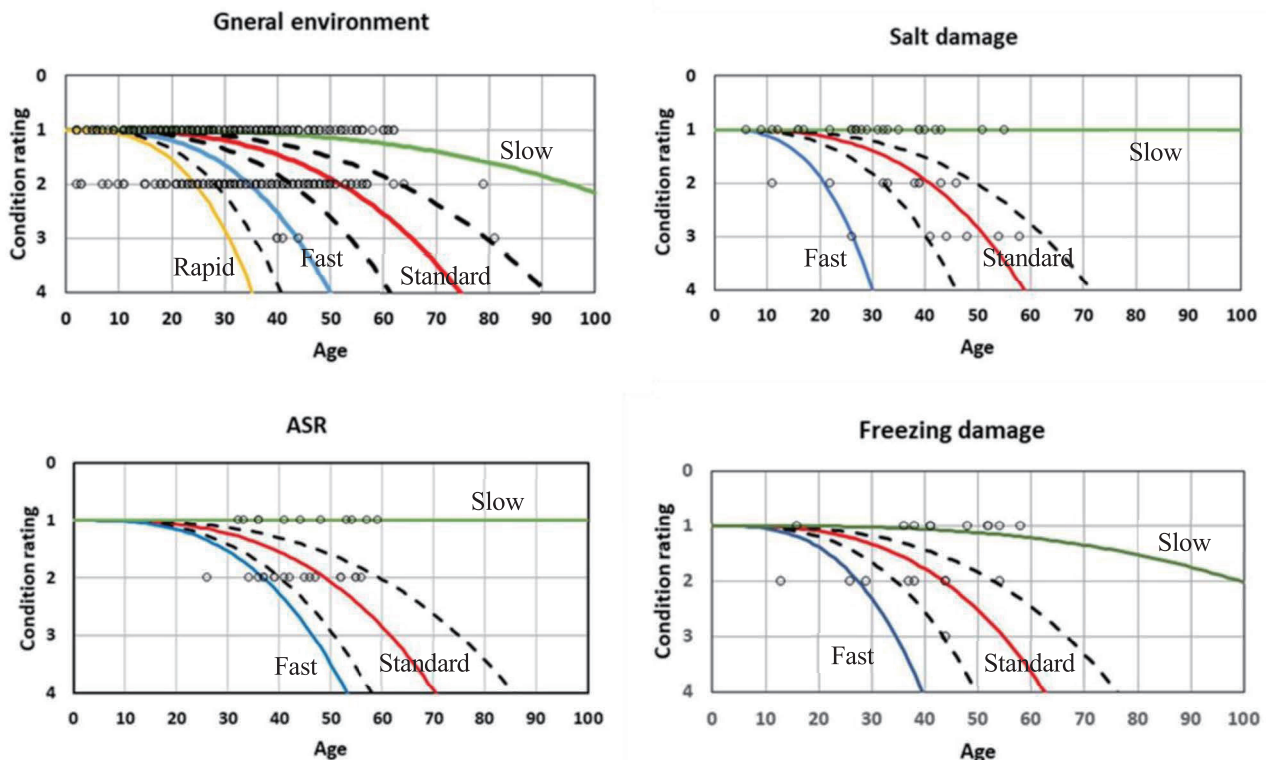


Fig.1 Comparison of deterioration transfer curves of slabs in PC girder bridges for general condition, salt damage, ASR and freezing damage

3.6 PC 桁橋の主桁の劣化曲線の比較

一般環境下、塩害・ASR・凍害の影響を受ける PC 桁橋の主桁の劣化曲線の比較を Fig.2 に示す。標準の劣化曲線の健全度Ⅳに達するまでの年数の比較では、一般環境下では 70 年、塩害では 61 年、ASR では 71 年、凍害では 69 年と塩害の影響を受ける橋梁は他の橋梁より劣化速度が速くなっている。特に、塩害の場合には健全度Ⅲに達した橋梁が多く存在している。また、一般環境下の橋梁においても、劣化速度が「超速い(rapid)」領域に多数の橋梁が見られる。

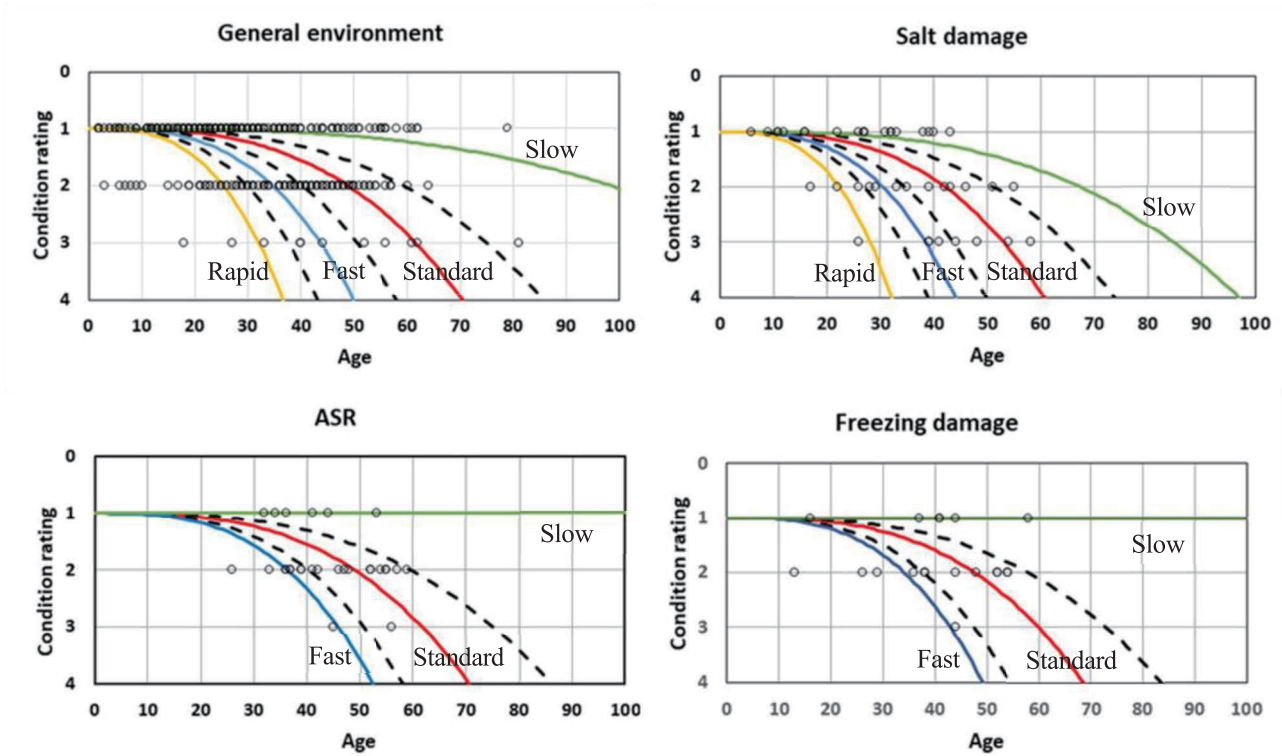


Fig.2 Comparison of deterioration transfer curves of main girders in PC girder bridges for general condition, salt damage, ASR and freezing damage

3.7 鋼桁橋の床版の劣化曲線の比較

一般環境下、塩害・ASR・凍害の影響を受ける鋼桁橋の床版の劣化曲線の比較を Fig.3 に示す。標準の劣化曲線の健全度Ⅳに達するまでの年数の比較では、一般環境下では 77 年、塩害では 59 年、ASR では 59 年、凍害では 71 年と進行性劣化の影響を受ける橋梁では一般環境下の橋梁より劣化速度が速くなっている。しかし、進行性劣化の影響を受ける橋梁に健全度Ⅲはほとんど見られない。一般環境下では、劣化が「速い(fast)」領域に健全度Ⅲが存在する。一般環境下の劣化が「超速い(rapid)」領域に多数の橋梁が見られるが、健全度Ⅲは存在しない。

3.8 鋼桁橋の主桁の劣化曲線の比較

一般環境下、塩害・ASR・凍害の影響を受ける鋼桁橋の主桁の劣化曲線の比較を Fig.4 に示す。標準の劣化曲線の健全度Ⅳに達するまでの年数の比較では、一般環境下では 70 年、塩害では 61 年、ASR では 56 年、凍害では 66 年と進行性劣化の影響を受ける橋梁では一般環境下の橋梁より劣化速度が速くなっている。しかし、鋼桁の主な劣化要因は腐食であり、進行性劣化の影響とは無関係である。一般環境下の劣化が「超速い(rapid)」領域に健全度Ⅲの橋梁が多数見られる。

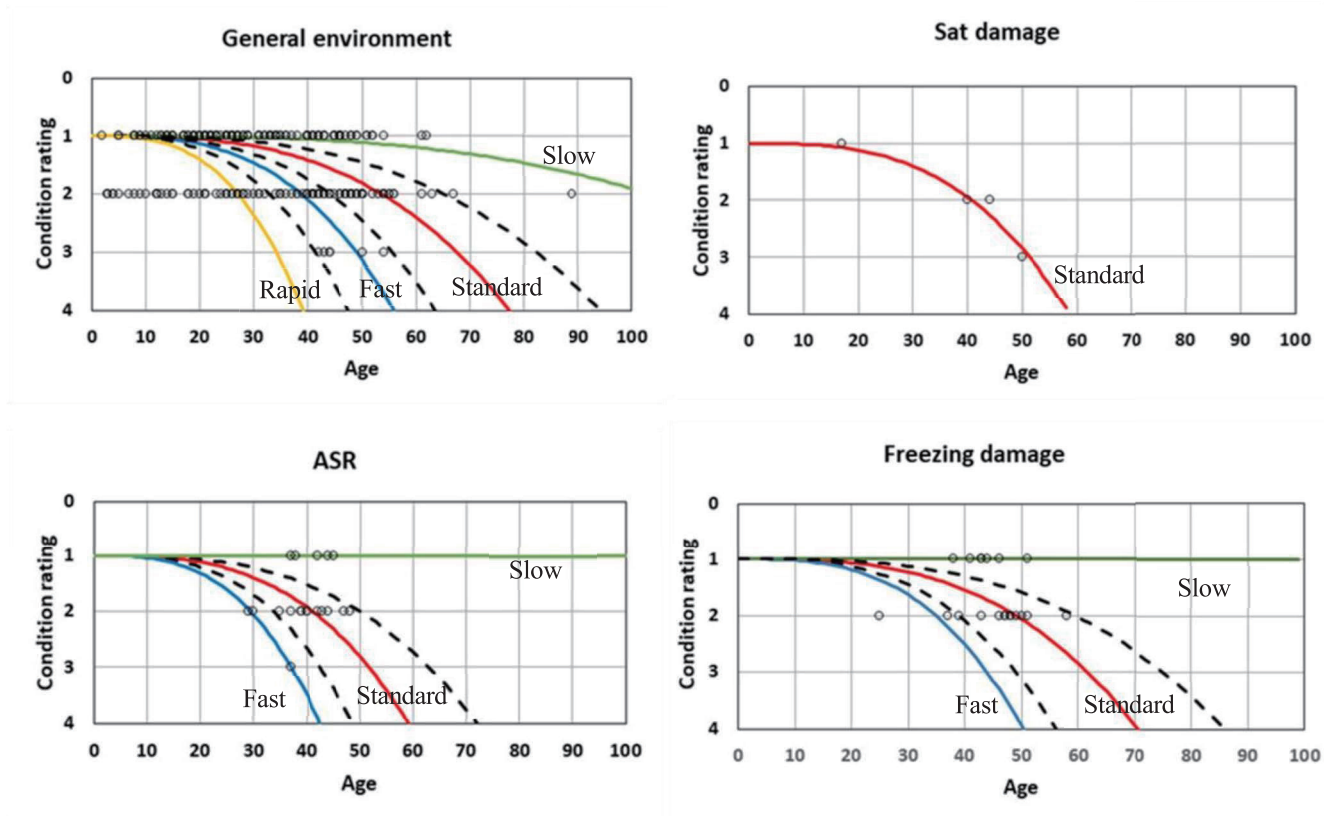


Fig.3 Comparison of deterioration transfer curves of slabs in steel girder bridges for general condition, salt damage, ASR and freezing damage

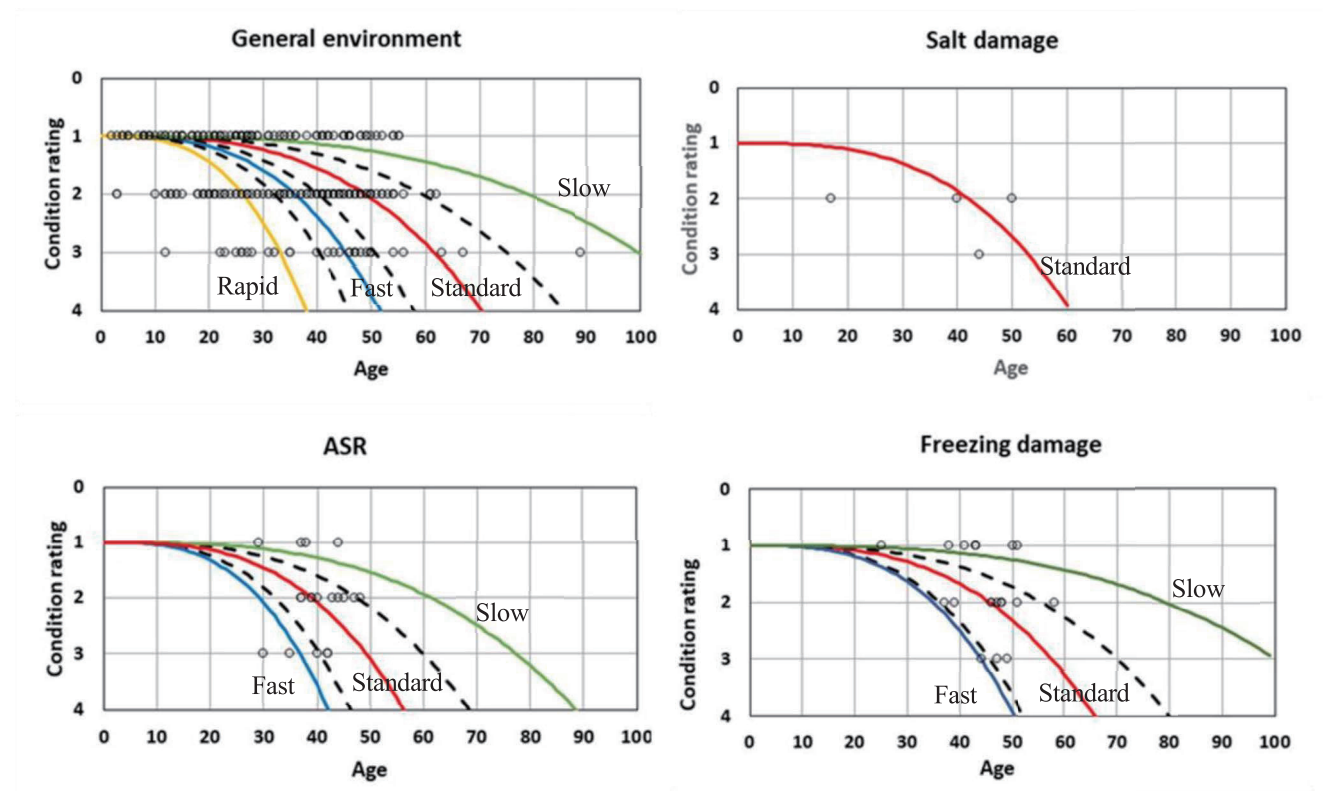


Fig.4 Comparison of deterioration transfer curves of main girders in steel girder bridges for general condition, salt damage, ASR and freezing damage

一般環境下、塩害・ASR・凍害の影響を受ける下部工の劣化曲線の比較を Fig.5 に示す。標準の劣化曲線の健全度Ⅳに達するまでの年数の比較では、一般環境下では 87 年、塩害では 80 年、ASR では 73 年、凍害では 79 年と進行性劣化の影響を受ける橋梁では一般環境下の橋梁より劣化速度が速くなっている。いずれの場合も劣化が広い領域に分布しており、すべての場合に健全度Ⅲが見られる。特に、凍害の場合に健全度Ⅲの下部工が多く存在する。

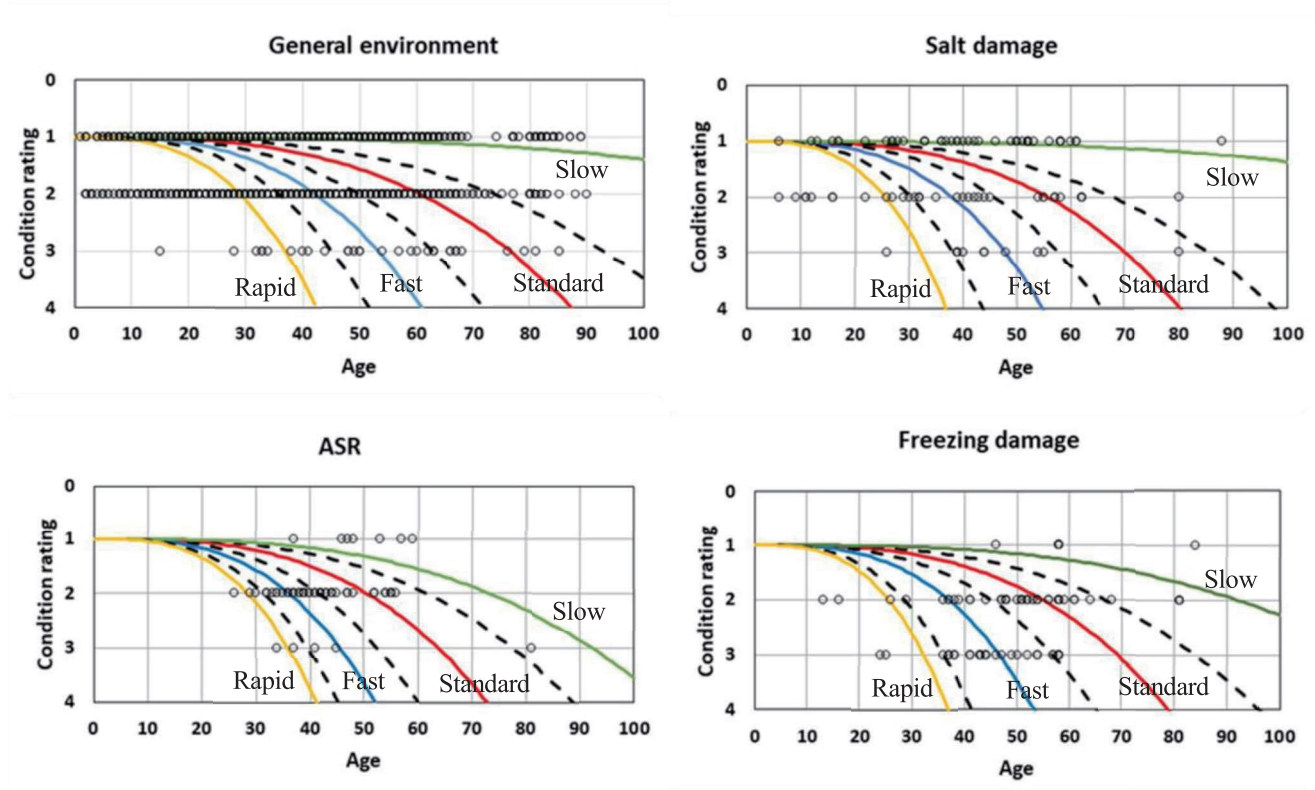


Fig.5 Comparison of deterioration transfer curves of substructures for general condition, salt damage, ASR and freezing damage

4. 劣化の地域特性

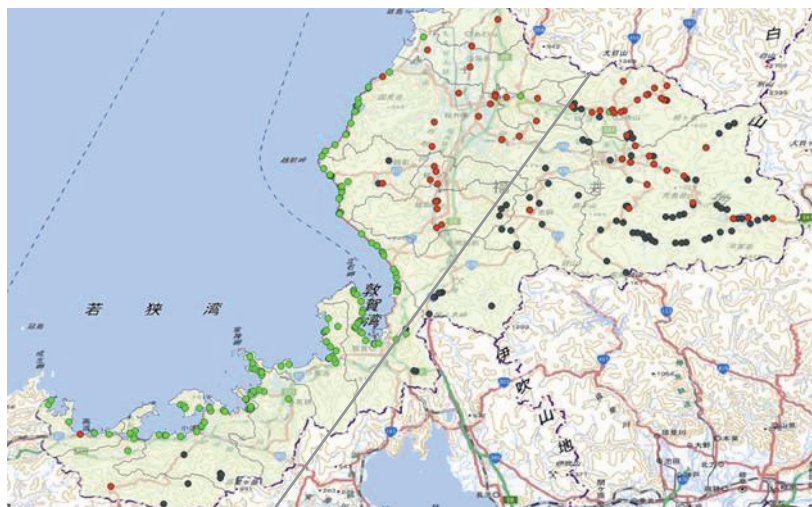


Fig.6 Geographical distribution of bridges subjected to salt damage, ASR and freezing damage
(Salt damage: green, ASR: red, freezing damage: black)

橋梁の劣化の地域特性を明らかにするために、GIS を用いてその橋梁の地域分布を調査した。一般環境下の橋梁は福井県全域に存在するが、進行性劣化の影響を受ける橋梁の地域分布には顕著な特徴を有している。

Fig.6 は塩害、ASR、凍害の影響を受ける橋梁の地域分布を示している。図において、塩害は緑色、ASR は赤色、凍害は黒で示している。図より明らかなごとく、塩害は海岸線沿いに存在し、内陸部でも凍結防止剤が原因と思われる劣化の橋梁が散見される。ASR は、嶺北の内陸部の幹線沿いに広く分布している。また ASR は嶺南地域にはほとんど見られない。凍害は、奥越の山間部に集中している。嶺北地域では図中に示した境界線 $y=1.203591x-128.149453$ (x は経度, y は緯度を示す) より右の山間部の領域で凍害と診断されている。また凍害領域に ASR の橋梁も多数見られ、ASR と凍害のハイブリッドな劣化の橋梁も多数存在するものと予想される。

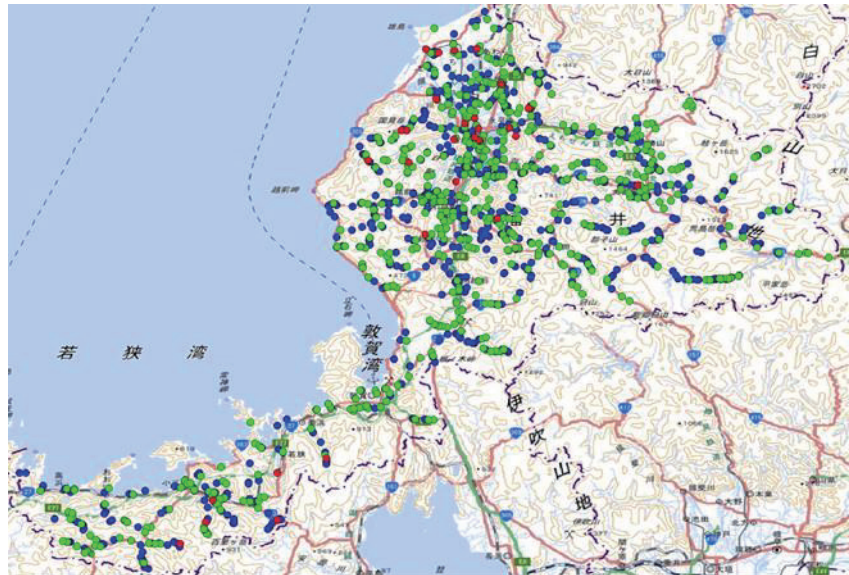


Fig.7 Geographical distribution of damaged substructures in general environment
(the rating I: blue, the rating II: green, the rating III: red)

一般環境下にある橋梁の下部工の劣化の地域分布を Fig.7 に示す。健全度Iを青色、健全度IIを緑色、健全度IIIを赤色で示した。下部工の健全度は、健全度Iが 674 橋、健全度IIが 602 橋で健全度I, IIの橋梁数は同程度の橋梁数となっている。健全度IIIは 32 橋であり、その多くは嶺北に分布している。

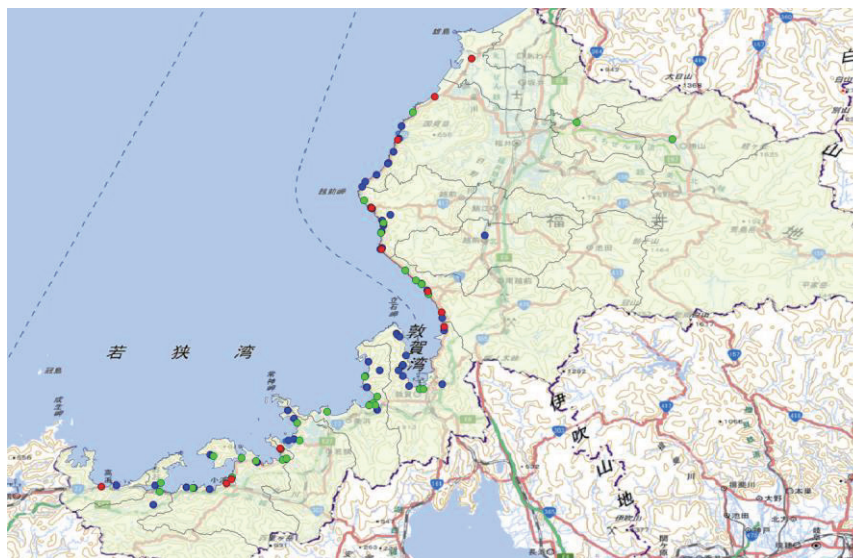


Fig.8 Geographical distribution of substructures subjected to salt damage
(the rating I: blue, the rating II: green, the rating III: red)

塩害の影響を受ける下部工の劣化の分布を Fig.8 に、ASR の影響を受ける下部工の劣化の分布を Fig.9 に、凍害の影響を受ける下部工の劣化の分布を Fig.10 にそれぞれ示す。

塩害の影響を受ける下部工では、敦賀湾周辺の劣化は比較のおだやかであるが、越前岬周辺および常神岬より西部は塩害による劣化が進行している。越前岬周辺で健全度Ⅰを維持している橋梁は、補修済みである橋梁の可能性が高い。ASR の影響を受ける下部工では、嶺北に健全度Ⅲの橋梁が集中しており、その他は健全度Ⅱで経過観察されている状況である。健全度Ⅲまで進行している下部工は少ない。凍害の影響を受ける下部工は山間部で健全度Ⅱと健全度Ⅲの劣化が同程度の数見られ、劣化が進行している。

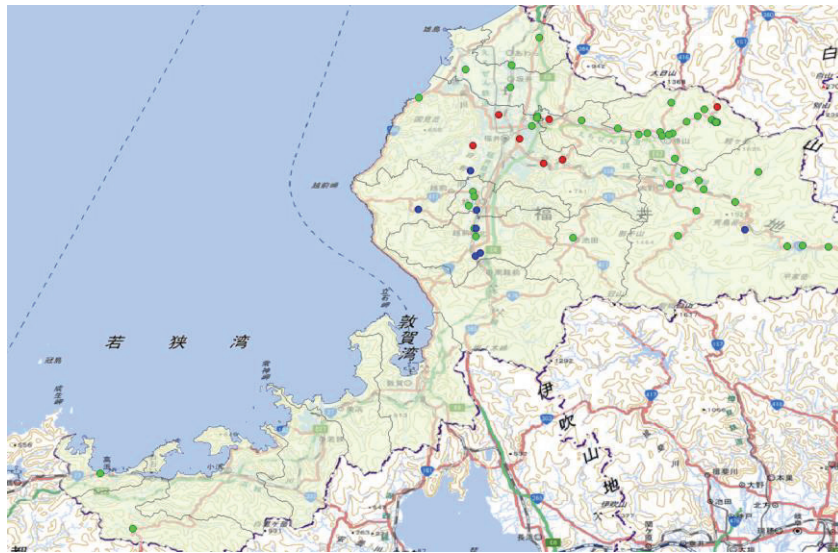


Fig.9 Geographical distribution of substructures subjected to ASR
(the rating I: blue, the rating II: green, the rating III: red)

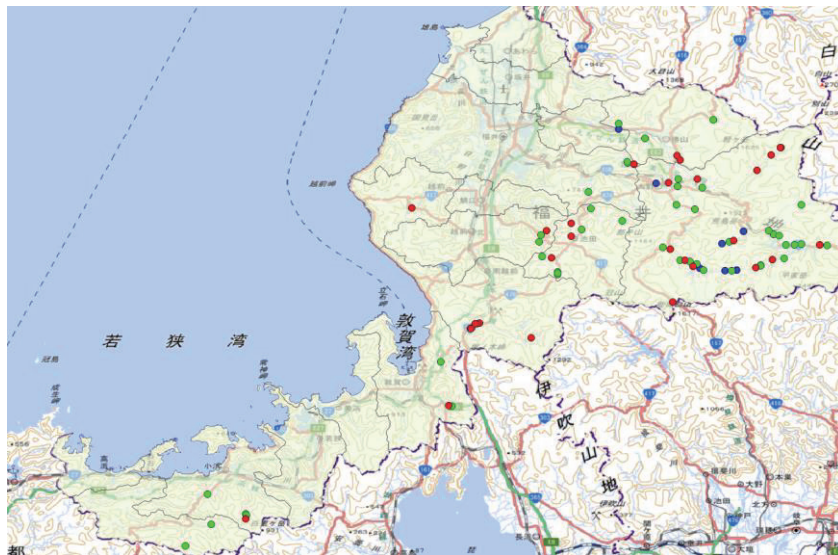


Fig.10 Geographical distribution of substructures subjected to freezing damage
(the rating I: blue, the rating II: green, the rating III: red)

5. 結 論

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- (1) 一般環境下の橋梁の劣化において最も劣化が速い場合に注目すると、RC 床版橋は、53 年で健全度Ⅳに達する速度であり、比較的緩やかである、PC 床版橋は、34 年で健全度Ⅳに達する非常に速い速度であるが健全度Ⅲに至っている橋梁は存在しない。RC 桁橋では、健全度Ⅳに達する時間は 41 年～52 年となっている。PC 桁橋は、健全度Ⅳに達する時間が 31 年～37 年と非常に速くなっている。鋼桁橋では、40 年程度となっており、塗装の劣化が主たる要因である。下部工は、43 年で健全度Ⅳに達する速度となっている。
- (2) 塩害の影響を受ける橋梁の劣化において最も劣化が速い場合に注目すると、RC 床版橋は適切な補修も施され健全な状態である。PC 床版橋、RC 桁橋は橋梁数が少なく標準的な劣化の状態である。PC 桁橋は、30～32 年で健全度Ⅳに達する速度となっている。鋼桁橋は、標準的な劣化である。下部工は、37 年で健全度Ⅳに達している。
- (3) ASR の影響を受ける橋梁の劣化において最も劣化が速い場合に注目すると、RC 床版橋、RC 桁橋は橋梁数が少なく標準的な劣化の状態である。ASR の影響を受ける PC 床版橋は存在しない。PC 桁橋は、どの部位も 53 年程度で健全度Ⅳに達しており、比較的劣化速度は緩やかである。鋼桁橋は、42 年で健全度Ⅳに達しており、腐食の劣化の標準的な劣化速度である。下部工は、41 年で健全度Ⅳに達している。
- (4) 凍害の影響を受ける橋梁の劣化において最も劣化が速い場合に注目すると、RC 床版橋は、健全度Ⅳに達する時間は 71 年と劣化速度は遅い。PC 床版橋、RC 桁橋は数が少なく、それらの劣化速度は遅い。PC 桁橋は、床版では 40 年、主桁では 49 年、横桁では 37 年で健全度Ⅳに達しているが、床版、横桁の現在の健全度にⅢは見られない。鋼桁橋は 50 年～56 年で健全度Ⅳに達しており、標準的である。下部工は、37 年で健全度Ⅳに達している。
- (5) 塩害、ASR、凍害の影響を受ける橋梁の地域分布の比較では、塩害は海岸線沿いに存在し、内陸部でも凍結防止剤が原因と思われる劣化の橋梁が散見される。ASR は、嶺北の内陸部の幹線沿いに広く分布している。また ASR は嶺南地域にはほとんど見られない。凍害は、奥越の山間部に集中している。嶺北地域では境界線 $y=1.203591x-128.149453$ (x は経度, y は緯度を示す) より右の山間部の領域で凍害と診断されている。また凍害領域に ASR の橋梁も多数見られ、ASR と凍害のハイブリッドな劣化の橋梁も多数存在するものと予想される。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局、道路橋定期点検要領 平成 31 年 3 月(2019)
- 2) (財)福井県建設技術公社、福井県橋梁定期点検マニュアル 平成 19 年(2007)
- 3) 福井県土木部道路保全課、福井県橋梁長寿命化修繕計画 平成 31 年 3 月(2019)
- 4) 谷脇一弘、大西秀明、福井市および福井県の管理橋梁の劣化特性について、福井工業大学研究紀要第46 号 (2016), pp.112-121
- 5) 谷脇一弘、福井県の異なる環境下における橋梁の劣化特性について、福井工業大学研究紀要第47号(2017), pp.85-91

(2021 年 9 月 13 日受理)