

Ⅲ－B92

T S P 探査法による地質解析手法の研究（その2）

～中生代酸性火山岩地山における適用例～

(株)鴻池組 技術研究所 正会員 高馬 崇 山本 俊夫  
(株)鴻池組 大阪本店 吉田 武久

1. はじめに

TSP (Tunnel Seismic Prediction) は、トンネル切羽前方の地質予測を目的とした反射法地震探査の一つであり、地山や坑内の条件によっても多少異なるが、100m～150m 前方の地山性状の探査が可能であるとされている。中生代白亜紀の流紋岩質熔結凝灰岩からなる地山のトンネル工事に TSP 探査を直線区間と曲線区間の2度にわたって実施した。本論では、TSP 探査結果に基づいた地質予測と、トンネル施工中の切羽観察結果から復元した地質状況について、比較・検討した内容を述べる。

2. 探査目的

当初設計では、施工に影響がある熱水変質を伴う破碎帯が数箇所存在することが推測されていた。しかし、推定位置に破碎帯が存在しなかったり（第一回）、曲線区間の支保パターン決定材料にするため（第二回）、TSP による地質予測を実施した。

3. TSP 解析結果に基づく地質予測と実績地質状況

3-1. 第一回（直線区間）

発破測線は右側側壁に24孔を設置し、受振孔は左右両側壁に1ヶ所ずつ設置した。

TSP 探査結果と地形図判読や既存地質データを参考に、以下のような地質を予測した（図-2 参照）。

- ・ 35m 付近に破碎帯が推定される。地形図によるリニアメント位置は破碎帯推定位置とよく一致する。
- ・ 58m, 75m, 92m 付近に小規模の破碎帯が推測される。また、30m～75m 付近は破碎帯などの影響から地山等級（岩級）の低下が考えられる。

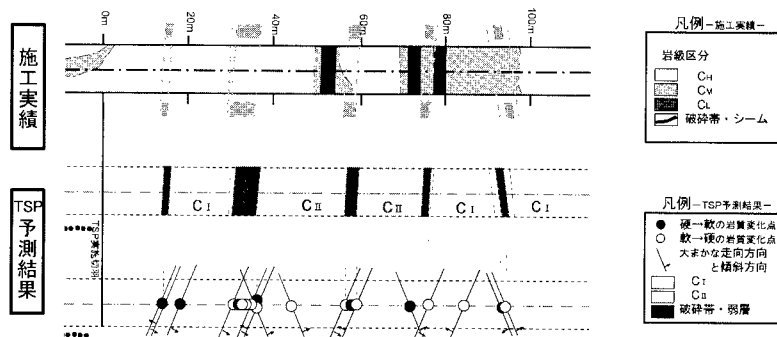


図-2. 第一回（直線区間）TSP 予測結果と施工実績の地質状況

TSP 実施切羽から約 100m について詳細な切羽観察を実施した結果、以下ようになった（図-2 参照）。

- ・ 52m 付近に層厚 3m の強破碎帯が出現。破碎帯の前後は、熱水変質により岩級が低下している。
- ・ 72m, 79m 付近に幅 2.5m 程度の中破碎帯が出現。湧水を伴う。
- ・ 70m～95m 付近の区間は、多亀裂によって岩級の低下が見られる。湧水を伴う。

キーワード： TSP, トンネル, 地質予測, 破碎帯

連絡先： 〒305-0003 茨城県つくば市桜 1-20-1 tel: 0298-57-2000 fax: 0298-57-2123

### 3-2. 第二回（曲線区間）

発破測線は右側側壁に24孔を設置し、受振孔は左右両側壁に1ヶ所ずつ設置した。

TSP 探査結果と地形図判読や既存地質データを参考に、以下のような地質を予測した（図-3 参照）。

- ・ 32m 付近に小規模破碎帯が、55m、63m 付近に中規模破碎帯が推定される。
- ・ 50m～75m、102m～112m 付近に反射面群があることから、地山等級（岩級）の低下が考えられる。

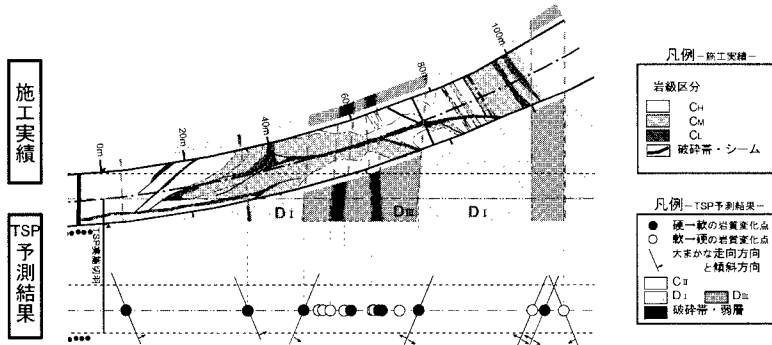


図-3. 第二回（曲線区間）TSP 予測結果と施工実績の地質状況

TSP 実施切羽から約 100m について詳細な切羽観察を実施した結果、以下ようになった（図-3 参照）。

- ・ 40m 付近に C<sub>1</sub> 級を伴う破碎帯が出現。75m 付近には幅 0.5m 程度の破碎帯が出現している。この破碎帯より岩相・岩級が急変する。節理には粘土が多く介在する。
- ・ 20m～60m 付近と 88m～100m の区間は、亀裂が多く岩級の低下が見られる。

### 4. 考察

上述の TSP 解析結果と施工実績の地質を比較すると以下ようになる（表-1, 2 参照）。

- ・ 第一回 TSP の予測結果と実績の地質状況には、およそ 15m～20m の隔りがある。しかし、地山区分の延長や破碎帯規模などは、ほぼ一致している。
- ・ 第二回 TSP の D<sub>III</sub> 予測位置と実績の C<sub>M</sub> 級出現区間との間には、約 20m の隔りがある。ただし、5m 付近の C<sub>II</sub>→D<sub>I</sub> 変化点や 100m 付近の D<sub>I</sub>→D<sub>III</sub> 変化点の位置は、ほぼ一致している。

表-1. 設計・予測・実績の対比表（第一回）

| 設計 | 破碎帯 | 地山区分 | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> | C <sub>11</sub> | C <sub>12</sub> | C <sub>13</sub> | C <sub>14</sub> | C <sub>15</sub> | C <sub>16</sub> | C <sub>17</sub> | C <sub>18</sub> | C <sub>19</sub> | C <sub>20</sub> | C <sub>21</sub> | C <sub>22</sub> | C <sub>23</sub> | C <sub>24</sub> | C <sub>25</sub> | C <sub>26</sub> | C <sub>27</sub> | C <sub>28</sub> | C <sub>29</sub> | C <sub>30</sub> | C <sub>31</sub> | C <sub>32</sub> | C <sub>33</sub> | C <sub>34</sub> | C <sub>35</sub> | C <sub>36</sub> | C <sub>37</sub> | C <sub>38</sub> | C <sub>39</sub> | C <sub>40</sub> | C <sub>41</sub> | C <sub>42</sub> | C <sub>43</sub> | C <sub>44</sub> | C <sub>45</sub> | C <sub>46</sub> | C <sub>47</sub> | C <sub>48</sub> | C <sub>49</sub> | C <sub>50</sub> | C <sub>51</sub> | C <sub>52</sub> | C <sub>53</sub> | C <sub>54</sub> | C <sub>55</sub> | C <sub>56</sub> | C <sub>57</sub> | C <sub>58</sub> | C <sub>59</sub> | C <sub>60</sub> | C <sub>61</sub> | C <sub>62</sub> | C <sub>63</sub> | C <sub>64</sub> | C <sub>65</sub> | C <sub>66</sub> | C <sub>67</sub> | C <sub>68</sub> | C <sub>69</sub> | C <sub>70</sub> | C <sub>71</sub> | C <sub>72</sub> | C <sub>73</sub> | C <sub>74</sub> | C <sub>75</sub> | C <sub>76</sub> | C <sub>77</sub> | C <sub>78</sub> | C <sub>79</sub> | C <sub>80</sub> | C <sub>81</sub> | C <sub>82</sub> | C <sub>83</sub> | C <sub>84</sub> | C <sub>85</sub> | C <sub>86</sub> | C <sub>87</sub> | C <sub>88</sub> | C <sub>89</sub> | C <sub>90</sub> | C <sub>91</sub> | C <sub>92</sub> | C <sub>93</sub> | C <sub>94</sub> | C <sub>95</sub> | C <sub>96</sub> | C <sub>97</sub> | C <sub>98</sub> | C <sub>99</sub> | C <sub>100</sub> |
|----|-----|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 予測 | 破碎帯 | 地山区分 | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> | C <sub>11</sub> | C <sub>12</sub> | C <sub>13</sub> | C <sub>14</sub> | C <sub>15</sub> | C <sub>16</sub> | C <sub>17</sub> | C <sub>18</sub> | C <sub>19</sub> | C <sub>20</sub> | C <sub>21</sub> | C <sub>22</sub> | C <sub>23</sub> | C <sub>24</sub> | C <sub>25</sub> | C <sub>26</sub> | C <sub>27</sub> | C <sub>28</sub> | C <sub>29</sub> | C <sub>30</sub> | C <sub>31</sub> | C <sub>32</sub> | C <sub>33</sub> | C <sub>34</sub> | C <sub>35</sub> | C <sub>36</sub> | C <sub>37</sub> | C <sub>38</sub> | C <sub>39</sub> | C <sub>40</sub> | C <sub>41</sub> | C <sub>42</sub> | C <sub>43</sub> | C <sub>44</sub> | C <sub>45</sub> | C <sub>46</sub> | C <sub>47</sub> | C <sub>48</sub> | C <sub>49</sub> | C <sub>50</sub> | C <sub>51</sub> | C <sub>52</sub> | C <sub>53</sub> | C <sub>54</sub> | C <sub>55</sub> | C <sub>56</sub> | C <sub>57</sub> | C <sub>58</sub> | C <sub>59</sub> | C <sub>60</sub> | C <sub>61</sub> | C <sub>62</sub> | C <sub>63</sub> | C <sub>64</sub> | C <sub>65</sub> | C <sub>66</sub> | C <sub>67</sub> | C <sub>68</sub> | C <sub>69</sub> | C <sub>70</sub> | C <sub>71</sub> | C <sub>72</sub> | C <sub>73</sub> | C <sub>74</sub> | C <sub>75</sub> | C <sub>76</sub> | C <sub>77</sub> | C <sub>78</sub> | C <sub>79</sub> | C <sub>80</sub> | C <sub>81</sub> | C <sub>82</sub> | C <sub>83</sub> | C <sub>84</sub> | C <sub>85</sub> | C <sub>86</sub> | C <sub>87</sub> | C <sub>88</sub> | C <sub>89</sub> | C <sub>90</sub> | C <sub>91</sub> | C <sub>92</sub> | C <sub>93</sub> | C <sub>94</sub> | C <sub>95</sub> | C <sub>96</sub> | C <sub>97</sub> | C <sub>98</sub> | C <sub>99</sub> | C <sub>100</sub> |
| 実績 | 破碎帯 | 地山区分 | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> | C <sub>11</sub> | C <sub>12</sub> | C <sub>13</sub> | C <sub>14</sub> | C <sub>15</sub> | C <sub>16</sub> | C <sub>17</sub> | C <sub>18</sub> | C <sub>19</sub> | C <sub>20</sub> | C <sub>21</sub> | C <sub>22</sub> | C <sub>23</sub> | C <sub>24</sub> | C <sub>25</sub> | C <sub>26</sub> | C <sub>27</sub> | C <sub>28</sub> | C <sub>29</sub> | C <sub>30</sub> | C <sub>31</sub> | C <sub>32</sub> | C <sub>33</sub> | C <sub>34</sub> | C <sub>35</sub> | C <sub>36</sub> | C <sub>37</sub> | C <sub>38</sub> | C <sub>39</sub> | C <sub>40</sub> | C <sub>41</sub> | C <sub>42</sub> | C <sub>43</sub> | C <sub>44</sub> | C <sub>45</sub> | C <sub>46</sub> | C <sub>47</sub> | C <sub>48</sub> | C <sub>49</sub> | C <sub>50</sub> | C <sub>51</sub> | C <sub>52</sub> | C <sub>53</sub> | C <sub>54</sub> | C <sub>55</sub> | C <sub>56</sub> | C <sub>57</sub> | C <sub>58</sub> | C <sub>59</sub> | C <sub>60</sub> | C <sub>61</sub> | C <sub>62</sub> | C <sub>63</sub> | C <sub>64</sub> | C <sub>65</sub> | C <sub>66</sub> | C <sub>67</sub> | C <sub>68</sub> | C <sub>69</sub> | C <sub>70</sub> | C <sub>71</sub> | C <sub>72</sub> | C <sub>73</sub> | C <sub>74</sub> | C <sub>75</sub> | C <sub>76</sub> | C <sub>77</sub> | C <sub>78</sub> | C <sub>79</sub> | C <sub>80</sub> | C <sub>81</sub> | C <sub>82</sub> | C <sub>83</sub> | C <sub>84</sub> | C <sub>85</sub> | C <sub>86</sub> | C <sub>87</sub> | C <sub>88</sub> | C <sub>89</sub> | C <sub>90</sub> | C <sub>91</sub> | C <sub>92</sub> | C <sub>93</sub> | C <sub>94</sub> | C <sub>95</sub> | C <sub>96</sub> | C <sub>97</sub> | C <sub>98</sub> | C <sub>99</sub> | C <sub>100</sub> |

表-2. 設計・予測・実績の対比表（第二回）

| 設計 | 破碎帯 | 地山区分 | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> | C <sub>11</sub> | C <sub>12</sub> | C <sub>13</sub> | C <sub>14</sub> | C <sub>15</sub> | C <sub>16</sub> | C <sub>17</sub> | C <sub>18</sub> | C <sub>19</sub> | C <sub>20</sub> | C <sub>21</sub> | C <sub>22</sub> | C <sub>23</sub> | C <sub>24</sub> | C <sub>25</sub> | C <sub>26</sub> | C <sub>27</sub> | C <sub>28</sub> | C <sub>29</sub> | C <sub>30</sub> | C <sub>31</sub> | C <sub>32</sub> | C <sub>33</sub> | C <sub>34</sub> | C <sub>35</sub> | C <sub>36</sub> | C <sub>37</sub> | C <sub>38</sub> | C <sub>39</sub> | C <sub>40</sub> | C <sub>41</sub> | C <sub>42</sub> | C <sub>43</sub> | C <sub>44</sub> | C <sub>45</sub> | C <sub>46</sub> | C <sub>47</sub> | C <sub>48</sub> | C <sub>49</sub> | C <sub>50</sub> | C <sub>51</sub> | C <sub>52</sub> | C <sub>53</sub> | C <sub>54</sub> | C <sub>55</sub> | C <sub>56</sub> | C <sub>57</sub> | C <sub>58</sub> | C <sub>59</sub> | C <sub>60</sub> | C <sub>61</sub> | C <sub>62</sub> | C <sub>63</sub> | C <sub>64</sub> | C <sub>65</sub> | C <sub>66</sub> | C <sub>67</sub> | C <sub>68</sub> | C <sub>69</sub> | C <sub>70</sub> | C <sub>71</sub> | C <sub>72</sub> | C <sub>73</sub> | C <sub>74</sub> | C <sub>75</sub> | C <sub>76</sub> | C <sub>77</sub> | C <sub>78</sub> | C <sub>79</sub> | C <sub>80</sub> | C <sub>81</sub> | C <sub>82</sub> | C <sub>83</sub> | C <sub>84</sub> | C <sub>85</sub> | C <sub>86</sub> | C <sub>87</sub> | C <sub>88</sub> | C <sub>89</sub> | C <sub>90</sub> | C <sub>91</sub> | C <sub>92</sub> | C <sub>93</sub> | C <sub>94</sub> | C <sub>95</sub> | C <sub>96</sub> | C <sub>97</sub> | C <sub>98</sub> | C <sub>99</sub> | C <sub>100</sub> |
|----|-----|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 予測 | 破碎帯 | 地山区分 | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> | C <sub>11</sub> | C <sub>12</sub> | C <sub>13</sub> | C <sub>14</sub> | C <sub>15</sub> | C <sub>16</sub> | C <sub>17</sub> | C <sub>18</sub> | C <sub>19</sub> | C <sub>20</sub> | C <sub>21</sub> | C <sub>22</sub> | C <sub>23</sub> | C <sub>24</sub> | C <sub>25</sub> | C <sub>26</sub> | C <sub>27</sub> | C <sub>28</sub> | C <sub>29</sub> | C <sub>30</sub> | C <sub>31</sub> | C <sub>32</sub> | C <sub>33</sub> | C <sub>34</sub> | C <sub>35</sub> | C <sub>36</sub> | C <sub>37</sub> | C <sub>38</sub> | C <sub>39</sub> | C <sub>40</sub> | C <sub>41</sub> | C <sub>42</sub> | C <sub>43</sub> | C <sub>44</sub> | C <sub>45</sub> | C <sub>46</sub> | C <sub>47</sub> | C <sub>48</sub> | C <sub>49</sub> | C <sub>50</sub> | C <sub>51</sub> | C <sub>52</sub> | C <sub>53</sub> | C <sub>54</sub> | C <sub>55</sub> | C <sub>56</sub> | C <sub>57</sub> | C <sub>58</sub> | C <sub>59</sub> | C <sub>60</sub> | C <sub>61</sub> | C <sub>62</sub> | C <sub>63</sub> | C <sub>64</sub> | C <sub>65</sub> | C <sub>66</sub> | C <sub>67</sub> | C <sub>68</sub> | C <sub>69</sub> | C <sub>70</sub> | C <sub>71</sub> | C <sub>72</sub> | C <sub>73</sub> | C <sub>74</sub> | C <sub>75</sub> | C <sub>76</sub> | C <sub>77</sub> | C <sub>78</sub> | C <sub>79</sub> | C <sub>80</sub> | C <sub>81</sub> | C <sub>82</sub> | C <sub>83</sub> | C <sub>84</sub> | C <sub>85</sub> | C <sub>86</sub> | C <sub>87</sub> | C <sub>88</sub> | C <sub>89</sub> | C <sub>90</sub> | C <sub>91</sub> | C <sub>92</sub> | C <sub>93</sub> | C <sub>94</sub> | C <sub>95</sub> | C <sub>96</sub> | C <sub>97</sub> | C <sub>98</sub> | C <sub>99</sub> | C <sub>100</sub> |
| 実績 | 破碎帯 | 地山区分 | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> | C <sub>8</sub> | C <sub>9</sub> | C <sub>10</sub> | C <sub>11</sub> | C <sub>12</sub> | C <sub>13</sub> | C <sub>14</sub> | C <sub>15</sub> | C <sub>16</sub> | C <sub>17</sub> | C <sub>18</sub> | C <sub>19</sub> | C <sub>20</sub> | C <sub>21</sub> | C <sub>22</sub> | C <sub>23</sub> | C <sub>24</sub> | C <sub>25</sub> | C <sub>26</sub> | C <sub>27</sub> | C <sub>28</sub> | C <sub>29</sub> | C <sub>30</sub> | C <sub>31</sub> | C <sub>32</sub> | C <sub>33</sub> | C <sub>34</sub> | C <sub>35</sub> | C <sub>36</sub> | C <sub>37</sub> | C <sub>38</sub> | C <sub>39</sub> | C <sub>40</sub> | C <sub>41</sub> | C <sub>42</sub> | C <sub>43</sub> | C <sub>44</sub> | C <sub>45</sub> | C <sub>46</sub> | C <sub>47</sub> | C <sub>48</sub> | C <sub>49</sub> | C <sub>50</sub> | C <sub>51</sub> | C <sub>52</sub> | C <sub>53</sub> | C <sub>54</sub> | C <sub>55</sub> | C <sub>56</sub> | C <sub>57</sub> | C <sub>58</sub> | C <sub>59</sub> | C <sub>60</sub> | C <sub>61</sub> | C <sub>62</sub> | C <sub>63</sub> | C <sub>64</sub> | C <sub>65</sub> | C <sub>66</sub> | C <sub>67</sub> | C <sub>68</sub> | C <sub>69</sub> | C <sub>70</sub> | C <sub>71</sub> | C <sub>72</sub> | C <sub>73</sub> | C <sub>74</sub> | C <sub>75</sub> | C <sub>76</sub> | C <sub>77</sub> | C <sub>78</sub> | C <sub>79</sub> | C <sub>80</sub> | C <sub>81</sub> | C <sub>82</sub> | C <sub>83</sub> | C <sub>84</sub> | C <sub>85</sub> | C <sub>86</sub> | C <sub>87</sub> | C <sub>88</sub> | C <sub>89</sub> | C <sub>90</sub> | C <sub>91</sub> | C <sub>92</sub> | C <sub>93</sub> | C <sub>94</sub> | C <sub>95</sub> | C <sub>96</sub> | C <sub>97</sub> | C <sub>98</sub> | C <sub>99</sub> | C <sub>100</sub> |

TSP 解析結果と実績の地質状況の隔たりを生み出した原因としては、a)熱水変質帯を伴う地山であることから、不連続面が平面ではない b)測定時もしくは解析時の誤差 c)多節理・多亀裂の影響 d)節理・亀裂に介在する風化した粘土の影響（第二回） e)曲線区間による予測投影時の誤差（第二回）などが挙げられる。

### 5. おわりに

今回の対象地山は、TSP による予測に適した条件とされる火成岩地山であった。破碎帯規模や多亀裂帯の延長については予測とよい一致を得たが、それらの位置については 20m 程度の隔りがあった。

今後は、地山の地質データなどとあわせ総合的な判断の基に予測を実施し、トンネル切羽前方予測の一手法として確立し、現場に適用していく。

参考文献 高馬 ほか,1996,TSP探査法による地質解析手法の研究(その1),土木学会51回講演概要集,Ⅲ-B60,pp120-121

竹内 ほか,1997,TSP探査結果に与える亀裂の影響についての検討,土木学会52回講演概要集,Ⅲ-B59,pp118-119