

# 地下空洞型処分施設性能確証試験における 三次元地下水水流動解析を用いた 周辺岩盤間隙水圧測定区間の検討について

大沼 和弘<sup>1\*</sup>・寺田 賢二<sup>1</sup>・松村 勝秀<sup>1</sup>・小山 俊博<sup>2</sup>・矢島 一昭<sup>3</sup>

<sup>1</sup>財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター（〒104-0052 東京都中央区月島1丁目15番7号）

<sup>2</sup>東電設計株式会社 第一土木本部（〒110-0015 東京都台東区東上野3丁目3番地3号）

<sup>3</sup>株式会社ダイヤコンサルタント 地質解析センター（〒331-8638 埼玉県さいたま市北区吉野町2-272-3）

\*E-mail: onuma@rwmc.or.jp

地下空洞型処分施設性能確証試験は、地下環境において実規模の地下空洞型処分施設を施工することにより、施工技術、施工手順等の適用性を確認し、低透水性・低拡散性、力学的特性等の初期性能を確認するものである。また、試験施設や周辺岩盤の力学・水理挙動の計測を実施することとしており、試験位置周辺岩盤において、試験施設の施工に伴う周辺地下水への影響を確認するため、間隙水圧の測定を行う計画である。

間隙水圧の測定位置、測定区間を計画するにあたり、試験空洞周辺の三次元地下水水流動解析を実施した。ここでは、試験実施前後の間隙水圧分布を予測した上で、間隙水圧の計測位置、計測区間の設定を行った。

**Key Words :** Cavern type disposal, 3D groundwater flow analys, Pore pressure measurement

## 1. はじめに

地下50m以深の大断面地下空洞にコンクリートの処分ピットを構築し、その周囲をベントナイト等の緩衝材で覆う、いわゆる地下空洞型処分施設は発電所廃棄物の余裕深度処分等として具体的な検討が行われている<sup>1)</sup>。

地下空洞型処分施設は、放射能レベルの比較的高い放射性廃棄物を対象としていることや地下50m以深の地下空洞に建設する処分施設であるため、これまでの地表からの処分施設と異なる設計や施工技術が必要とされている<sup>2)</sup>。

地下空洞型処分施設性能確証試験は、大断面の地下空洞に原位置で実規模大の模擬人工バリアを構築し、人工バリアの施工性と施工に伴う人工バリアの性能および人工バリアと周辺岩盤の挙動の計測するもので、施工確認試験、初期性能確認試験、施設／岩盤挙動計測試験を実施する計画である<sup>3)</sup>。

このうち、岩盤挙動計測試験は、人工バリアの施工中、施工直後の挙動を計測結果に基づく挙動の評価方法や予測方法の確立に資することを目的として実施するもので、人工バリア周辺岩盤における力学挙動、水理挙動を計測するものである。特に、水理挙動は、試

験空洞掘削時に地下水位の低下が認められており、今後、人工バリアの構築に伴う地下水位の変化が予測された。この場合、地下水位の変化が、人工バリアや空洞支保に及ぼす影響を把握し、設計や施工法に反映することが必要となる。このため、本試験では、人工バリア構築に伴う周辺岩盤における間隙水圧を計測する計画とした。

地下空洞型処分施設確証試験における岩盤挙動計測試験を実施するにあたり、人工バリア周辺を構成する地質毎に透水特性が異なること、試験位置周辺には試験空洞の他、複数の調査坑が配置されていることから<sup>4)</sup>、三次元地下水水流動解析を実施し、合理的な間隙水圧の測定区間配置を検討した。

## 2. 水理挙動の検討

### (1) 検討フロー

人工バリア周辺岩盤の間隙水圧測定区間配置を検討するにあたり、三次元地下水水流動解析を含めた実施の手順を検討した。

まず、これまでに試験位置周辺で実施された地質お

より水理に関する調査結果を収集し、三次元地下水水流動解析に必要な項目について整理を行った。次いで、これらの情報に基づき、三次元水理地質モデルを作成した。ここで、三次元地下水水流動解析を行い、現況の試験位置周辺の間隙水圧分布と試験空洞の湧水量の実測値と比較することにより、水理地質モデルの妥当性を確認する。この後、試験に伴い構築される人工バリアを解析モデルに追加し、人工バリア施工後に予想される試験位置周辺の間隙水圧分布を求めた。最後に、人工バリア構築前後の間隙水圧分布を比較し、間隙水圧測定区間配置の検討を行った。検討のフローを図-1に示す。

## (2) 三次元水理地質モデル作成

試験位置においては、これまでに各種の調査が実施されている<sup>4,5,6)</sup>。これらのうち、地質および水理に関するデータを整理し、三次元水理地質モデルを作成した。ここで、水理地質区分とその透水係数は図-2に示すとおりであり、三次元地下水水流動解析における透水係数設定もこれに従っている。

試験空洞は幅約18m、高さ約16m、長さ約70mであり、モデルの作成範囲は試験空洞を中心とした500m×400mの範囲、深度はEL.-10～EL.-160mの範囲とし、モデル深さは150mとした。作成した三次元地下水水流動解析モデルを図-3に示す。なお、FEMメッシュにおける総節点数と要素総数は2,000,000未満としている。なお、モデル

外周側面の境界条件には、より広範囲のモデルにおいて実施した三次元地下水水流動解析の結果を反映させた。

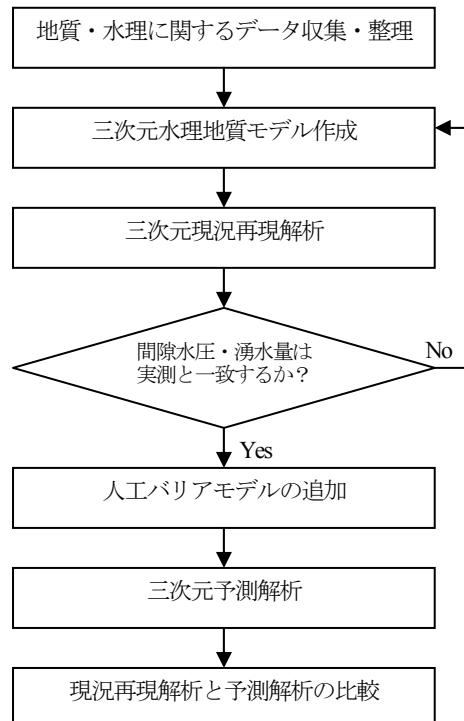


図-1 間隙水圧測定区間配置の検討フロー

地層区分			水理地質区分 (■:高透水薄層 ▨:低透水薄層)						その他考慮する事項	
地質区分		層相区分	水理地質区分名		記号	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 269 270 271 272 273 274 275 275 276 277 278 279 279 280 281 282 283 283 284 285 285 286 287 287 288 288 289 289 290 290 291 291 292 292 293 293 294 294 295 295 296 296 297 297 298 298 299 299 300 300 301 301 302 302 303 303 304 304 305 305 306 306 307 307 308 308 309 309 310 310 311 311 312 312 313 313 314 314 315 315 316 316 317 317 318 318 319 319 320 320 321 321 322 322 323 323 324 324 325 325 326 326 327 327 328 328 329 329 330 330 331 331 332 332 333 333 334 334 335 335 336 336 337 337 338 338 339 339 340 340 341 341 342 342 343 343 344 344 345 345 346 346 347 347 348 348 349 349 350 350 351 351 352 352 353 353 354 354 355 355 356 356 357 357 358 358 359 359 360 360 361 361 362 362 363 363 364 364 365 365 366 366 367 367 368 368 369 369 370 370 371 371 372 372 373 373 374 374 375 375 376 376 377 377 378 378 379 379 380 380 381 381 382 382 383 383 384 384 385 385 386 386 387 387 388 388 389 389 390 390 391 391 392 392 393 393 394 394 395 395 396 396 397 397 398 398 399 399 400 400 401 401 402 402 403 403 404 404 405 405 406 406 407 407 408 408 409 409 410 410 411 411 412 412 413 413 414 414 415 415 416 416 417 417 418 418 419 419 420 420 421 421 422 422 423 423 424 424 425 425 426 426 427 427 428 428 429 429 430 430 431 431 432 432 433 433 434 434 435 435 436 436 437 437 438 438 439 439 440 440 441 441 442 442 443 443 444 444 445 445 446 446 447 447 448 448 449 449 450 450 451 451 452 452 453 453 454 454 455 455 456 456 457 457 458 458 459 459 460 460 461 461 462 462 463 463 464 464 465 465 466 466 467 467 468 468 469 469 470 470 471 471 472 472 473 473 474 474 475 475 476 476 477 477 478 478 479 479 480 480 481 481 482 482 483 483 484 484 485 485 486 486 487 487 488 488 489 489 490 490 491 491 492 492 493 493 494 494 495 495 496 496 497 497 498 498 499 499 500 500 501 501 502 502 503 503 504 504 505 505 506 506 507 507 508 508 509 509 510 510 511 511 512 512 513 513 514 514 515 515 516 516 517 517 518 518 519 519 520 520 521 521 522 522 523 523 524 524 525 525 526 526 527 527 528 528 529 529 530 530 531 531 532 532 533 533 534 534 535 535 536 536 537 537 538 538 539 539 540 540 541 541 542 542 543 543 544 544 545 545 546 546 547 547 548 548 549 549 550 550 551 551 552 552 553 553 554 554 555 555 556 556 557 557 558 558 559 559 560 560 561 561 562 562 563 563 564 564 565 565 566 566 567 567 568 568 569 569 570 570 571 571 572 572 573 573 574 574 575 575 576 576 577 577 578 578 579 579 580 580 581 581 582 582 583 583 584 584 585 585 586 586 587 587 588 588 589 589 590 590 591 591 592 592 593 593 594 594 595 595 596 596 597 597 598 598 599 599 600 600 601 601 602 602 603 603 604 604 605 605 606 606 607 607 608 608 609 609 610 610 611 611 612 612 613 613 614 614 615 615 616 616 617 617 618 618 619 619 620 620 621 621 622 622 623 623 624 624 625 625 626 626 627 627 628 628 629 629 630 630 631 631 632 632 633 633 634 634 635 635 636 636 637 637 638 638 639 639 640 640 641 641 642 642 643 643 644 644 645 645 646 646 647 647 648 648 649 649 650 650 651 651 652 652 653 653 654 654 655 655 656 656 657 657 658 658 659 659 660 660 661 661 662 662 663 663 664 664 665 665 666 666 667 667 668 668 669 669 670 670 671 671 672 672 673 673 674 674 675 675 676 676 677 677 678 678 679 679 680 680 681 681 682 682 683 683 684 684 685 685 686 686 687 687 688 688 689 689 690 690 691 691 692 692 693 693 694 694 695 695 696 696 697 697 698 698 699 699 700 700 701 701 702 702 703 703 704 704 705 705 706 706 707 707 708 708 709 709 710 710 711 711 712 712 713 713 714 714 715 715 716 716 717 717 718 718 719 719 720 720 721 721 722 722 723 723 724 724 725 725 726 726 727 727 728 728 729 729 730 730 731 731 732 732 733 733 734 734 735 735 736 736 737 737 738 738 739 739 740 740 741 741 742 742 743 743 744 744 745 745 746 746 747 747 748 748 749 749 750 750 751 751 752 752 753 753 754 754 755 755 756 756 757 757 758 758 759 759 760 760 761 761 762 762 763 763 764 764 765 765 766 766 767 767 768 768 769 769 770 770 771 771 772 772 773 773 774 774 775 775 776 776 777 777 778 778 779 779 780 780 781 781 782 782 783 783 784 784 785 785 786 786 787 787 788 788 789 789 790 790 791 791 792 792 793 793 794 794 795 795 796 796 797 797 798 798 799 799 800 800 801 801 802 802 803 803 804 804 805 805 806 806 807 807 808 808 809 809 810 810 811 811 812 812 813 813 814 814 815 815 816 816 817 817 818 818 819 819 820 820 821 821 822 822 823 823 824 824 825 825 826 826 827 827 828 828 829 829 830 830 831 831 832 832 833 833 834 834 835 835 836 836 837 837 838 838 839 839 840 840 841 841 842 842 843 843 844 844 845 845 846 846 847 847 848 848 849 849 850 850 851 851 852 852 853 853 854 854 855 855 856 856 857 857 858 858 859 859 860 860 861 861 862 862 863 863 864 864 865 865 866 866 867 867 868 868 869 869 870 870 871 871 872 872 873 873 874 874 875 875 876 876 877 877 878 878 879 879 880 880 881 881 882 882 883 883 884 884 885 885 886 886 887 887 888 888 889 889 890 890 891 891 892 892 893 893 894 894 895 895 896 896 897 897 898 898 899 899 900 900 901 901 902 902 903 903 904 904 905 905 906 906 907 907 908 908 909 909 910 910 911 911 912 912 913 913 914 914 915 915 916 916 917 917 918 918 919 919 920 920 921 921 922 922 923 923 924 924 925 925 926 926 927 927 928 928 929 929 930 930 931 931 932 932 933 933 934 934 935 935 936 936 937 937 938 938 939 939 940 940 941 941 942 942 943 943 944 944 945 945 946 946 947 947 948 948 949 949 950 950 951 951 952 952 953 953 954 954 955 955 956 956 957 957 958 958 959 959 960 960 961 961 962 962 963 963 964 964 965 965 966 966 967 967 968 968 969 969 970 970 971 971 972 972 973 973 974 974 975 975 976 976 977 977 978 978 979 979 980 980 981 981 982 982 983 983 984 984 985 985 986 986 987 987 988 988 989 989 990 990 991 991 992 992 993 993 994 994 995 995 996 996 997 997 998 998 999 999 1000 1000 1001 1001 1002 1002 1003 1003 1004 1004 1005 1005 1006 1006 1007 1007 1008 1008 1009 1009 1010 1010 1011 1011 1012 1012 1013 1013 1014 1014 1015 1015 1016 1016 1017 1017 1018 1018 1019 1019 1020 1020 1021 1021 1022 1022 1023 1023 1024 1024 1025 1025 1026 1026 1027 1027 1028 1028 1029 1029 1030 1030 1031 1031 1032 1032 1033 1033 1034 1034 1035 1035 1036 1036 1037 1037 1038 1038 1039 1039 1040 1040 1041 1041 1042 1042 1043 1043 1044 1044 1045 1045 1046 1046 1047 1047 1048 1048 1049 1049 1050 1050 1051 1051 1052 1052 1053 1053 1054 1054 1055 1055 1056 1056 1057 1057 1058 1058 1059 1059 1060 1060 1061 1061 1062 1062 1063 1063 1064 1064 1065 1065 1066 1066 1067 1067 1068 1068 1069 1069 1070 1070 1071 1071 1072 1072 1073 1073 1074 1074 1075 1075 1076 1076 1077 1077 1078 1078 1079 1079 1080 1080 1081 1081 1082 1082 1083 1083 1084 1084 1085 1085 1086 1086 1087 1087 1088 1088 1089 1089 1090 1090 1091 1091 1092 1092 1093 1093 1094 1094 1095 1095 1096 1096 1097 1097 1098 1098 1099 1099 1100 1100 1101 1101 1102 1102 1103 1103 1104 1104 1105 1105 1106 1106 1107 1107 1108 1108 1109 1109 1110 1110 1111 1111 1112 1112 1113 1113 1114 1114 1115 1115 1116 1116 1117 1117 1118 1118 1119 1119 1120 1120 1121 1121 1122 1122 1123 1123 1124 1124 1125 1125 1126 1126 1127 1127 1128 1128 1129 1129 1				

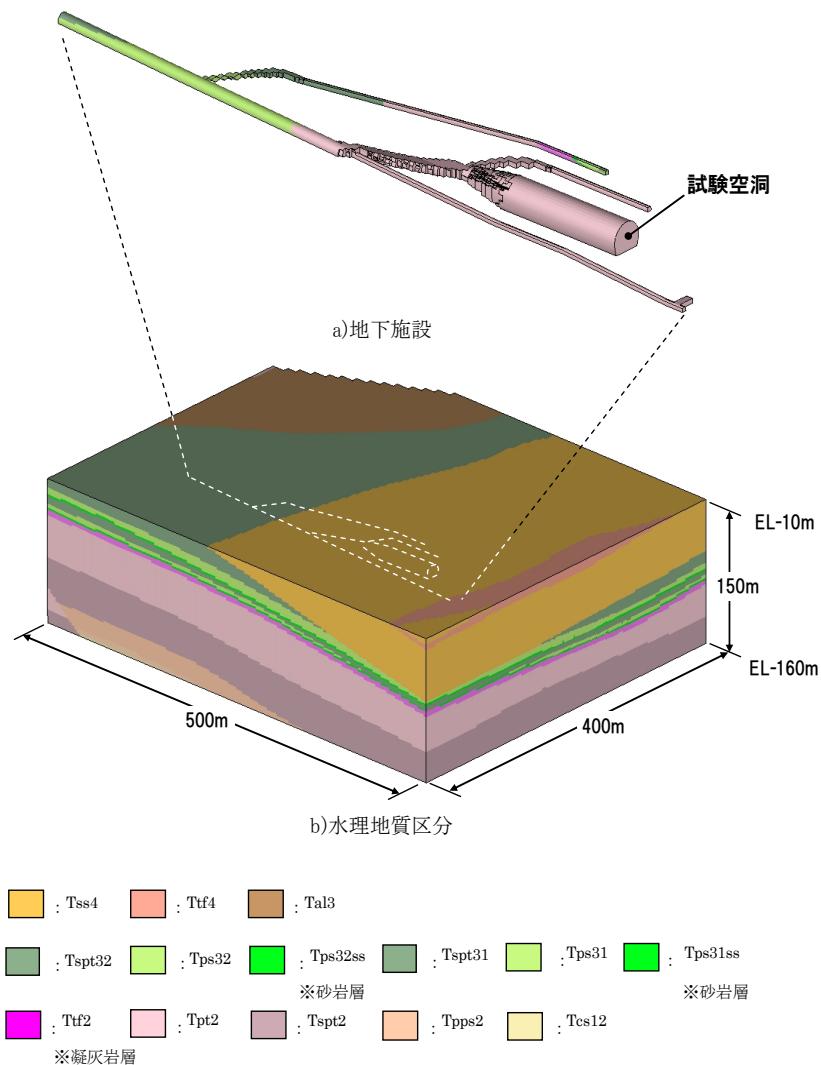


図-3 三次元地下水水流動解析モデル

### (3) 三次元地下水水流動解析

地下空洞型処分施設性能確認試験は試験空洞奥の長さ約18mの範囲に人工バリアを施工するものである。

現況再現解析において、トンネル支保工としては、試験空洞の吹付けコンクリートのみをモデル化し、試験空洞本体部に厚さ2mの掘削影響領域（EDZ）を設定したケースと設定しないケースで三次元地下水水流動解析を実施した。

さらに、人工バリア施工後の予測解析においては、図-4に示すように人工バリアをモデル化し、それぞれ部材毎に透水係数を設定し、三次元地下水水流動解析を実施するものとした。ここで、モデル化した部材は埋戻し材、緩衝材、表面保護材、低抵抗材、コンクリートピット、充填材、模擬廃棄体とした。なお、施設施工後、試験施設の排水システムを停止するものとして、水理挙動の予測解析を実施した。このため、試験期間中に稼働する計画である排水システム（排水設備、防水設備）については、モデル化はしないものとした。

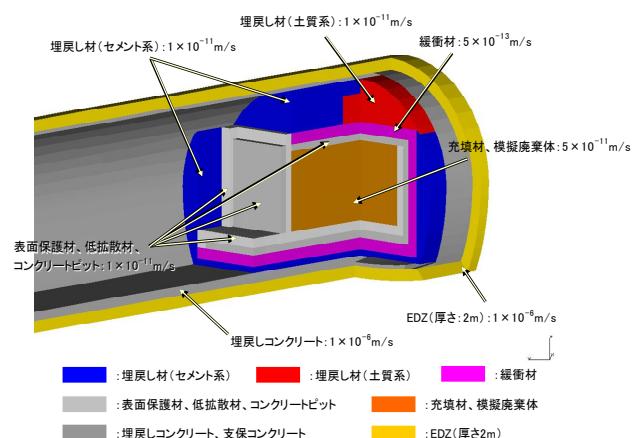


図-4 確証試験施設の三次元地下水水流動解析モデル

### 3. 三次元地下水水流動解析の評価

#### (1) 三次元地下水水流動解析結果

三次元地下水水流動解析については、間隙水圧分布を把握するため、試験空洞を横断する断面（水平、縦断、横断）において、全水頭センター図を作成した。

試験位置を横断する断面における現況再現解析および予測解析の結果を図-5に示す。ここで、現況解析の結果は、間隙水圧分布・湧水量の実測値とほぼ一致していることを確認している。なお、本報告では、より再現性の高い掘削影響領域を設定したケースを示して

いる。

また、現況再現解析では、試験空洞の側部壁面で約EL-83mであった全水頭が、人工バリアを設置後の予測解析では約EL-73mに変化し、約10mの水位上昇が認められる。また、底部においては、人工バリアの設置前後で、約EL-87mからEL-75mと、約12mの水位上昇となる。また、水位の上昇量は壁面に近いほど大きなものとなっている。

なお、計測坑Cは解析断面近傍に位置するが、解析断面まで達していない。

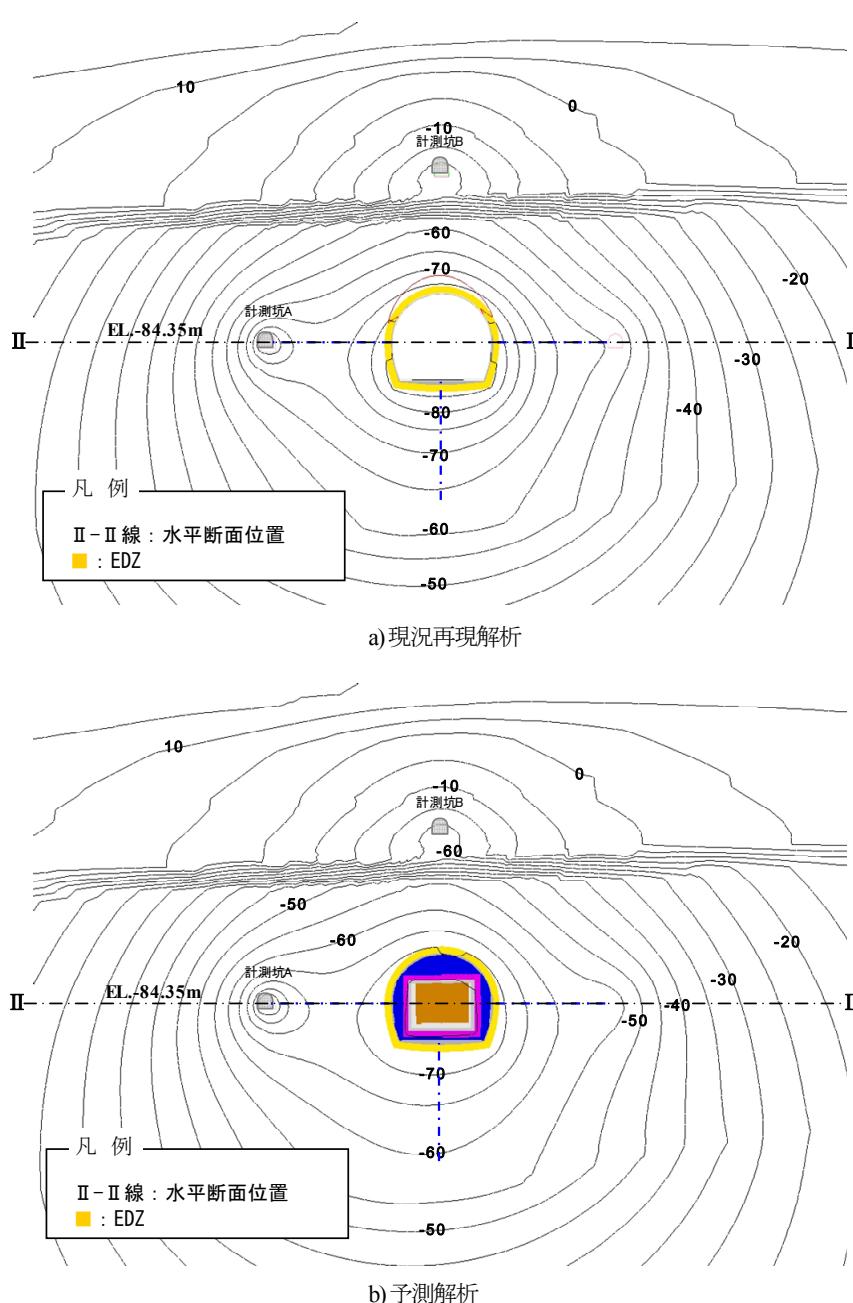


図-5 三次元地下水水流動解析結果（全水頭）

## (2) 間隙水圧計測区間配置の検討

ボーリング孔に設置した複数のパッカーで遮水した区間の水圧を間隙水圧として計測する。この方法で計測した間隙水圧の値は計測区間長さあたりの平均値であるので、できるだけ計測区間長さを短くし、多くの区間に計測できることが望ましい。ただし、現実には計測機材寸法等による区間長さの制約や費用により区間数が限られるので、実際の全水頭分布を再現できるように、計測区間長さや計測区間の配置を適切に設定する必要がある。このため、間隙水圧区間配置の検討では、人工バリアの施工に伴う間隙水圧の変化を把握するため、現況再現解析と予測解析の結果から、人工バリア施工前後の地下水位変化量および動水勾配を求め、これらの値が大きな区間に計測区間を配置することとした。

間隙水圧計は計測坑A、B、Cおよび試験空洞内より設置するものとした。設置位置における全水頭分布について、現況再現解析と予測解析の比較を図-6に示す。さらに、ここで人工バリア施工前後における全水頭の水位変化量と動水勾配を求めた。試験空洞坑壁部分以外、空洞に近い箇所ほど、地下水位変化量および動水勾配が大きな値を示していることが分かる。このため、試験空洞近傍ほど試験区間を短くし、より多くの計測区間を配置した方が効果的であると考えられた。

なお、間隙水圧計測の対象となる範囲は、坑壁より全水頭が最大となる点までを設定した。側壁部においては、坑壁より約10m付近で全水頭が最大となることから、計測対象領域を深度10mまでとした。また、底部などにおいては、孔底で全水頭が最大となることから、孔底まで計測を行うものとした。

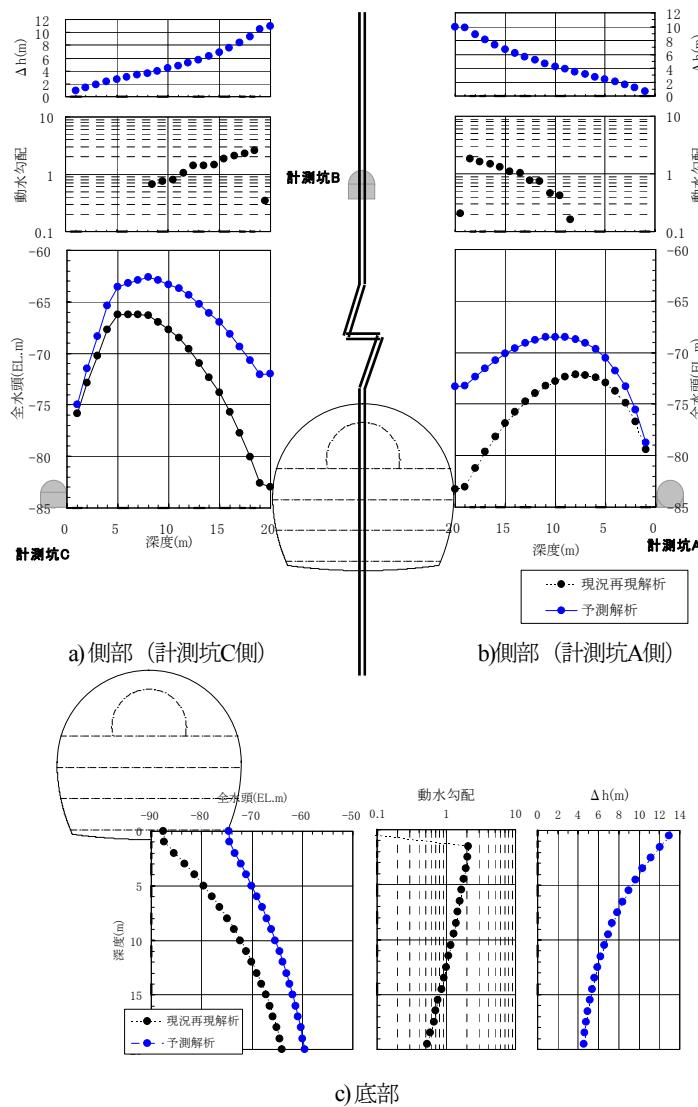


図-6 現況再現解析と予測解析の比較

(間隙水圧計設置位置における全水頭、動水勾配、水位変化量)

### (3) 間隙水圧測定区間配置

実際の間隙水圧計測においては、人工バリア周辺の間隙水圧変化を空間的把握するため、空洞の上下、左右および空洞妻壁方向の5方向について、計測を行うものとして間隙水圧計を設置した。また、ボーリングおよび計測器材の制約を考慮し、間隙水圧計測区間を設定した。

この結果、側部および上部においては、計測区間数を5区間とし、試験空洞壁面から3mまでの範囲で2区間を配置し、3~10mまでの範囲で3区間を設定した。一方、底部と妻部では、試験空洞壁面から3mまでの範囲で3区間を配置し、さらにそれ以深で5区間の計8区間を配置することとした。横断面方向における間隙水圧計測区間を図-7に示す。

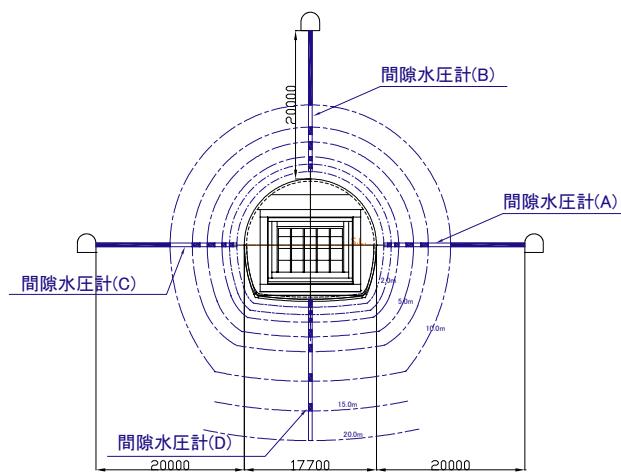


図-7 間隙水圧計設置位置

## 4.まとめ

地下空洞型処分施設性能確認試験のうち、岩盤挙動計測試験として、間隙水圧の計測区間、配置について検討を行った。

本検討では、水理地質モデルを作成し、現況の再

現解析を行った。さらに、人工バリアをモデル化し、人工バリア施工後の予測解析を行った。この結果、人工バリア施工前後における全水頭分布を算出した。間隙水圧の測定区間配置にあたっては、人工バリア施工前後の全水頭変位量および動水勾配に着目し、これらがより大きなものとなる坑壁近傍において、間隙水圧の計測区間を密に配置することとした。

現在、本検討に基づき、間隙水圧計を設置し、計測を行っている。今後、人工バリアを施工に伴う間隙水圧の変化についても計測する計画であり、今回の予測結果についての確認を実施する予定である。

**謝辞：**本報告は、経済産業省からの委託による「管理型処分技術調査等」の一部である。また、検討においては「地下空洞型処分施設性能確認試験検討委員会」のご指導を頂いた。深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 大西有三、河西基、辻幸和、西垣誠、鈴木義和、加藤和之：低レベル放射線廃棄物の余裕深度処分に関する技術の現状について、土木学会平成18年度全国大会研究討論会、研-14資料、2006
- 2) 庭瀬一仁、廣永道彦、辻幸和：低レベル放射性廃棄物処分に用いるコンクリートの設計について、コンクリート工学、Vol.44, No.2, pp.3-8, 2006
- 3) 坪谷隆夫、寺田賢二、松村勝秀、大沼和弘、窪田茂：地下空洞型処分施設性能確認試験－計画概要－、土木学会第62回年次学術講演会講演概要集、CS5-073, 2007
- 4) 日本原燃株式会社：低レベル放射性廃棄物の次期埋設に関する本格調査結果について、p.33, 2006
- 5) 石田裕樹、鶴旨純、中島雅之、本多眞：鷹架層の透水間隙特性、日本地下水学会2005年秋季講演会講演要旨、pp.34-39, 2005
- 6) 守友常雄、佐々木泰、白石知成、細谷真一：地下水解析のモデル化の方法、日本地下水学会2005年秋季講演会講演要旨、pp.76-81, 2005

## PORE PRESSURE MEASUREMENT PLAN OF NEAR FIELD ROCK USED ON THREE DIMENSIONAL GROUNDWATER FLOW ANALYS IN DEMONSTRATION TEST OF CAVERNS TYPE DISPOSAL FACILITY

Kazuhiro ONUMA, Kenji TERADA, Katsuhide MATSUMURA,  
Toshihiro KOYAMA and Kazuaki YAJIMA

Demonstration test of underground cavern type disposal facilities is planned through carrying out construction of full scale engineering barrier system which simulated in the underground space in full scale and under actual environment. This test consists of three parts, these are construction test, performance test and measurement test. Behavior of near field rock mass is measured about hydrological behavior under and after construction to evaluate effect at test facility.

To make plan of pore pressure measurement, three dimensional groundwater flow analysis has been carried out. Based on comparison of analysis before and after test, detail plan has been studied.