

2-5 水象

2-5-1 予測・評価

1) 切土による影響

地下水への影響の予測方法は、山岳トンネルを対象とした以下に示す「高橋の水文学的方法」を準用し、切土による影響範囲を求めた。

高橋の水文学的方法(恒常湧水量)

トンネルの湧水予測手法の一つで、「トンネル掘削時の恒常湧水量は、周辺沢の基底流量に比例する」という考えのもとで、1961年高橋彦治により提案されたものである。採用する数値が比較的容易に得られやすいことや、適用上の条件を適切に設定することで大勢を誤らない予測精度が得られるため、比較的良く用いられる方法である。

この方法は、渇水比流量と流出範囲より恒常湧水量 Q を求めるものであり、特に流出範囲の算出に関して水文学的方法、水理学的方法①②、地質学的方法について4つの方法があるが、ここでは最も一般的に用いられている方法とする。

a) 平均透水性(K_t)を平均流路幅(R)および平均比高(H_m)から次の順で算定する。

① 単位流域における平均流路幅(R)の算定

地形図(1/10,000 または 1/5,000)に分水界を記入し、単位流域を描く(下図(a)参照)。この面積を $A \text{ km}^2$ とする。主流路を直線でとりその延長を $L \text{ km}$ とする。したがって、単位流域の平均流路幅は $2R=A/L$ で求められる。この際選定する流域は沢と稜線との比高がトンネルの平均的な土被りに一致しているような規模のものを採用する。大きな土被りの場合は大きな流域で、小さな土被りの場合は小さな流域を採用する。

② 流路の平均比高(H_m)の算定

主流路を適当な長さ(50~100m)に分割し、各位置で左右分水界の標高、河床の標高をプロットし比高図を描く(下図(a)のグラフ参照)。河床と分水界との比高差を H とした左右の比高の合計を $\Sigma H_{1 \sim n}$ とすると、流路全体の平均比高は $H_m = \Sigma H_{1 \sim n} / (2 \cdot n)$ で求められる。

③ 平均透水性 K_t の算定

平均透水性は $K_t = R^2 / (6 \cdot H_m)$ で求められる。計算結果は5m又は10m単位としてよい。

b) 流出範囲の算定

前述の K_t を $R = (6 \cdot K_t \cdot H)^{0.5}$ に代入し、任意の H に対する R を求め、 H - R 曲線を作成する(下図(b)参照)。次にトンネルと直行する断面を適当間隔ごとに画く(下図(c)参照)。この場合、問題が予想される地点付近は間隔を小さくする。この横断面図に地質を記入しておき地下水流動の参考とする。トンネル F.L. と H - R 曲線の0点を合わせ、2枚の比高図と断面ごとの流出範囲図を重ね、 H - R 曲線と地面が交差する箇所をトンネル湧水影響範囲と考える。これを結んでいけば湧水流出範囲となる(下図(d)参照)。

c) 恒常湧水量 Q の算定

b)の湧水流出範囲の面積に、トンネル周辺の代表河川の渇水比流量を掛けたものが恒常湧水量となる

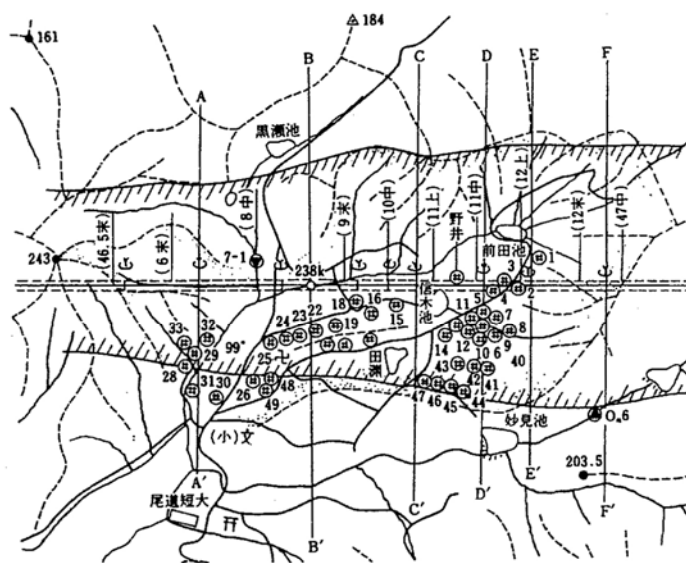
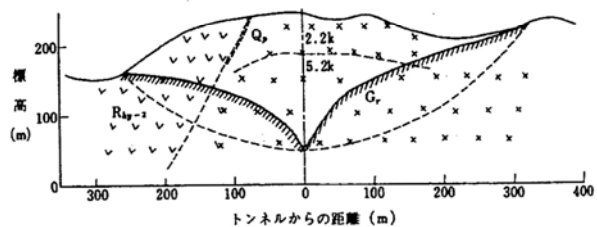
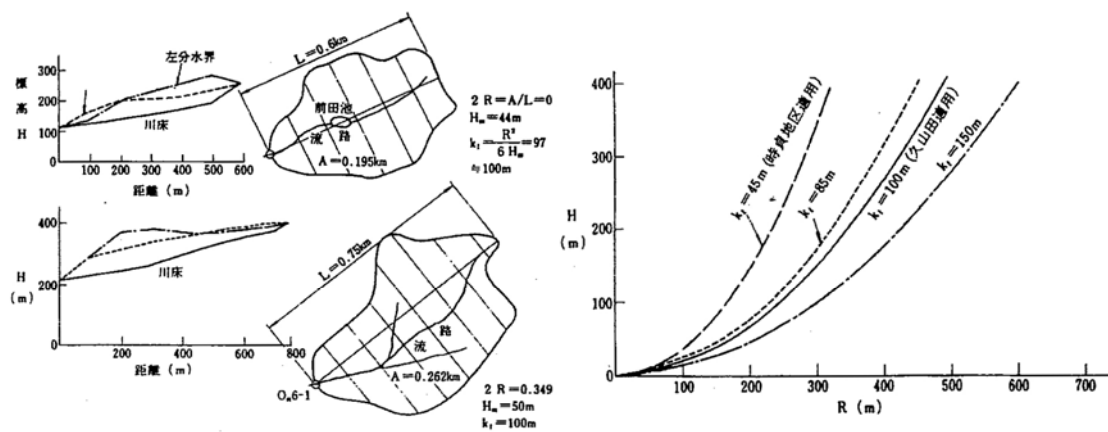


図 2-5-1 高橋の水文学的方法の流出範囲の概念図

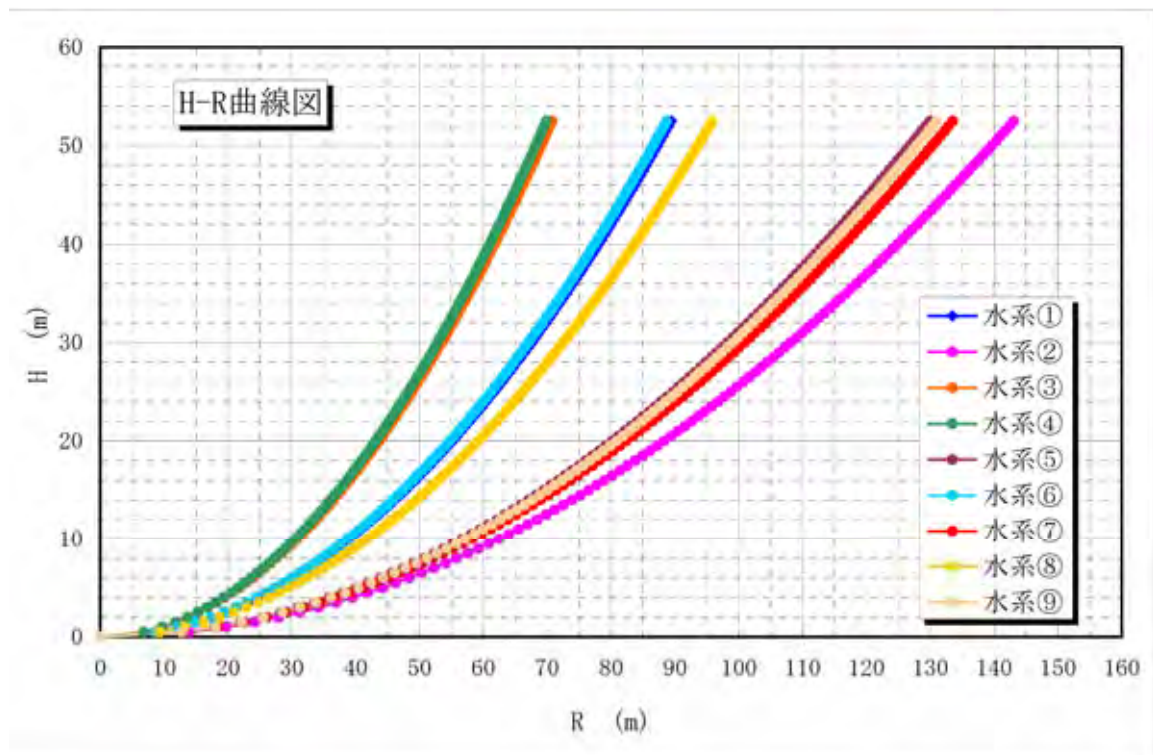
ここで、「トンネル F.L.」を「切土造成面」に読み替える。

図 2-5-2 に示す切土部を通る 7 箇所の水系を抽出し、図 2-5-3 に示す各水系の H-R 曲線を求める。

H に対する R が最も大きい(水位低下に対する影響範囲が最も大きい)H-R 曲線と地形図を重ね合わせ、流出影響範囲を求めた。



図 2-5-2 水系区分図



H-R曲線群の中から、最も広い影響範囲を示す「水系②」のH-R曲線を採用する

採用H-R関係式

$$R = (6 \times K_t \times H)^{1/2} = (6 \times 65.0 \times H)^{1/2} = (390.0 \times H)^{1/2}$$

図 2-5-3 H-R曲線図

各水系の流域面積、比高差の計算結果を以下に示す。

また、各水域の河床、分水界の標高・比高差を図 2-5-4(1)～(9)に示す。

流域面積計算

番	面積(1回目)	面積(2回目)	面積(3回目)	面積(4回目)	平均(m2)
①- 1	14045.6763	14042.3022	14039.0591	14042.8939	14042.4829
①- 2	30988.3101	30987.6987	30994.5609	30992.6429	30990.8032
①- 3	27878.9989	27891.5992	27889.5321	27887.7979	27886.9820
①- 4	13435.4695	13435.4695	13435.4695	13435.4695	13435.4695
				計	86355.7376

②- 1	14580.8984	14580.6179	14580.8984	14584.7400	14581.7887
②- 2	21204.8229	21204.2365	21204.4270	21204.4489	21204.4838
②- 3	26835.2827	26835.4697	26835.4697	26835.4697	26835.4230
②- 4	39596.9485	39596.7049	39599.7256	39596.7049	39597.5210
②- 5	22467.1331	22467.1331	22467.1331		22467.1331
②- 6	21230.3710	21230.3710	21230.3710		21230.3710
②- 7	22607.4578	22608.4588	22606.9108	22609.8878	22608.1788
②- 8	16236.1859	16236.1859	16236.1859		16236.1859
				計	184761.0852

③- 1	11435.3506	11435.2715	11435.8068	11435.6965	11435.5314
③- 2	16692.7782	16692.7782	16692.7782		16692.7782
③- 3	10644.4700	10644.4700	10644.4700		10644.4700
③- 4	11249.0770	11249.0770	11249.0770		11249.0770
③- 5	13550.3245	13550.3245	13550.3245		13550.3245
				計	63572.1811

④- 1	7519.1211	7518.8200	7518.9972	7518.9972	7518.9839
④- 2	14333.8819	14333.8819	14333.8819		14333.8819
④- 3	9089.8992	9089.8992	9089.8992		9089.8992
				計	30942.7650

⑤- 1	16458.6402	16458.6402	16458.6402		16458.6402
⑤- 2	6151.4195	6151.4195	6151.4195		6151.4195
⑤- 3	16604.6775	16604.6775	16604.6775		16604.6775
⑤- 4	23592.8892	23592.8892	23592.8892		23592.8892
⑤- 5	14214.9548	14214.9548	14214.9548		14214.9548
⑤- 6	19851.2932	19851.2932	19851.2932		19851.2932
⑤- 7	5585.5516	5585.5516	5585.5516		5585.5516
⑤- 8	14635.0782	14635.0782	14635.0782		14635.0782
⑤- 9	9034.6691	9034.6691	9034.6691		9034.6691
				計	126129.1733

⑥- 1	4576.8417	4576.8417	4576.8417		4576.8417
⑥- 2	6709.4721	6709.4721	6709.4721		6709.4721
⑥- 3	11420.5724	11420.5724	11420.5724		11420.5724
⑥- 4	13507.0388	13507.0388	13507.0388		13507.0388
⑥- 5	12742.3718	12742.3718	12742.3718		12742.3718
⑥- 6	8893.9980	8893.9980	8893.9980		8893.9980
⑥- 7	11830.6681	11830.6681	11830.6681		11830.6681
⑥- 8	7027.3538	7027.3538	7027.1080	7027.1080	7027.2309
⑥- 9	6518.9136	6518.9136	6518.9136		6518.9136
				計	83227.1074

⑦- 1	5048.9692	5048.9692	5048.9692		5048.9692
⑦- 2	4086.2008	4086.2008	4086.2008		4086.2008
⑦- 3	13779.1756	13779.1756	13779.1756		13779.1756
⑦- 4	12096.5227	12096.5227	12096.5227		12096.5227
⑦- 5	13018.4980	13018.4980	13018.4980		13018.4980
⑦- 6	21366.9232	21366.9232	21366.9232		21366.9232
⑦- 7	2450.5370	2450.5370	2450.5370		2450.5370
⑦- 8	8338.5584	8338.5584	8338.5584		8338.5584
				計	80185.3849

⑧- 1	23859.0041	23857.7466	23857.8993	23857.8993	23858.1373
				計	23858.1373

⑨- 1	42304.9115	42298.0180	42319.7677	42298.0120	42305.1773
				計	42305.1773

分水界～河床の比高計算(1)

水系	距離 (m)	標高(m)			比高差(m)		
		左岸分水界	河 床	右岸分水界	左岸分水界	河 床	右岸分水界
①	0	115	115	115	0	0	0
①	50	135	116	151	19	0	35
①	100	146	121	153	25	0	32
①	150	157	125	157	32	0	32
①	200	165	131	165	34	0	34
①	250	173	140	167	33	0	27
①	300	187	143	172	44	0	29
①	350	206	149	184	57	0	35
①	400	213	156	193	57	0	37
①	450	222	170	203	52	0	33
①	500	232	183	203	49	0	20
①	550	252	222	226	30	0	4
①	600	255	255	255	0	0	0
流路長 L=600				比高差合計	750		

水系	距離 (m)	標高(m)			比高差(m)		
		左岸分水界	河 床	右岸分水界	左岸分水界	河 床	右岸分水界
②	0	136	136	136	0	0	0
②	50	160	140	151	20	0	11
②	100	162	145	163	17	0	18
②	150	161	148	170	13	0	22
②	200	169	154	171	15	0	17
②	250	179	158	180	21	0	22
②	300	183	165	185	18	0	20
②	350	203	167	192	36	0	25
②	400	206	175	201	31	0	26
②	450	200	182	218	18	0	36
②	500	224	184	207	40	0	23
②	550	256	197	211	59	0	14
②	600	260	207	232	53	0	25
②	650	269	225	244	44	0	19
②	700	282	235	260	47	0	25
②	750	299	246	279	53	0	33
②	800	303	260	305	43	0	45
②	850	306	297	313	9	0	16
②	900	324	316	328	8	0	12
流路長 L=910				比高差合計	954		

水系	距離 (m)	標高(m)			比高差(m)		
		左岸分水界	河 床	右岸分水界	左岸分水界	河 床	右岸分水界
③	0	138	138	138	0	0	0
③	50	164	141	147	23	0	6
③	100	171	145	155	26	0	10
③	150	171	149	163	22	0	14
③	200	181	154	171	27	0	17
③	250	186	159	180	27	0	21
③	300	173	164	185	9	0	21
③	350	181	170	192	11	0	22
③	400	218	186	200	32	0	14
③	450	207	192	215	15	0	23
③	500	211	199	225	12	0	26
③	550	232	208	236	24	0	28
③	600	243	231	253	12	0	22
③	650	258	249	264	9	0	15
③	700	275	273	282	2	0	9
③	750	300	300	300	0	0	0
流路長 L=770				比高差合計	499		

分水界～河床の比高計算(2)

水系	距離 (m)	標高(m)			比高差(m)		
		左岸分水界	河 床	右岸分水界	左岸分水界	河 床	右岸分水界
④	0	155	155	155	0	0	0
④	50	182	161	182	21	0	21
④	100	192	167	197	25	0	30
④	150	202	173	204	29	0	31
④	200	216	184	212	32	0	28
④	250	226	200	218	26	0	18
④	300	238	238	238	0	0	0
流路長 L=315				比高差合計	261		

水系	距離 (m)	標高(m)			比高差(m)		
		左岸分水界	河 床	右岸分水界	左岸分水界	河 床	右岸分水界
⑤	0	159	159	159	0	0	0
⑤	50	178	165	196	13	0	31
⑤	100	190	175	203	15	0	28
⑤	150	205	180	205	25	0	25
⑤	200	214	183	207	31	0	24
⑤	250	222	189	217	33	0	28
⑤	300	254	197	223	57	0	26
⑤	350	264	204	227	60	0	23
⑤	400	282	215	238	67	0	23
⑤	450	303	237	255	66	0	18
⑤	500	313	256	271	57	0	15
⑤	550	333	278	290	55	0	12
⑤	600	324	324	324	0	0	0
流路長 L=610				比高差合計	732		

水系	距離 (m)	標高(m)			比高差(m)		
		左岸分水界	河 床	右岸分水界	左岸分水界	河 床	右岸分水界
⑥	0	164	164	164	0	0	0
⑥	50	191	169	175	22	0	6
⑥	100	203	178	185	25	0	7
⑥	150	205	183	192	22	0	9
⑥	200	207	187	202	20	0	15
⑥	250	217	191	207	26	0	16
⑥	300	223	197	215	26	0	18
⑥	350	227	202	225	25	0	23
⑥	400	238	206	230	32	0	24
⑥	450	255	215	243	40	0	28
⑥	500	272	223	257	49	0	34
⑥	550	290	234	267	56	0	33
⑥	600	310	250	275	60	0	25
⑥	650	295	290	294	5	0	4
流路長 L=680				比高差合計	650		

水系	距離 (m)	標高(m)			比高差(m)		
		左岸分水界	河 床	右岸分水界	左岸分水界	河 床	右岸分水界
⑦	0	173	160	188	13	0	28
⑦	50	180	163	194	17	0	31
⑦	100	187	164	199	23	0	35
⑦	150	196	169	203	27	0	34
⑦	200	204	175	194	29	0	19
⑦	250	210	178	197	32	0	19
⑦	300	219	185	208	34	0	23
⑦	350	226	200	216	26	0	16
⑦	400	237	227	231	10	0	4
⑦	450	254	254	254	0	0	0
流路長 L=450				比高差合計	420		

分水界～河床の比高計算(3)

水系	距離 (m)	標高(m)			比高差(m)		
		左岸分水界	河 床	右岸分水界	左岸分水界	河 床	右岸分水界
⑧	0	162	162	162	0	0	0
⑧	50	188	163	176	25	0	13
⑧	100	199	166	171	33	0	5
⑧	150	199	173	189	26	0	16
⑧	200	201	198	200	3	0	2
流路長 L=230				比高差合計	123		

水系	距離 (m)	標高(m)			比高差(m)		
		左岸分水界	河 床	右岸分水界	左岸分水界	河 床	右岸分水界
⑨	0	152	152	152	0	0	0
⑨	50	178	155	156	23	0	1
⑨	100	188	159	181	29	0	22
⑨	150	187	166	191	21	0	25
⑨	200	190	169	200	21	0	31
⑨	250	195	182	199	13	0	17
流路長 L=260				比高差合計	203		