

I. 緒言 アスファルト系舗装道路のうちでも特に交通量の少ない路肩附近や、干拓埋防の斜面舗装などは地下茎植物が舗装を突き破り、発芽するたけ、舗装に無数の亀裂を生じ、これが舗装破壊の原因となる。草生防止策としては一般に殺草剤撒布が行われているが、市販殺草剤の多くは一回の撒布で地下茎植物を完全に枯殺し得ない。これは千葉大学及び農林省土木試験所の実験によっても明らかである。従って舗装体の物理的強度によって防草性を得なければならぬことになる。その基礎研究として植物の発芽成長による舗装破壊機構を明らかにしたものが小論である。

II. 突き抜け試験 植物の繁殖は種子または地下茎によるが、本実験はまず種子から発芽して舗装体を突き抜ける雑草の調査をし、そのうちから

表-1 ワンドマッシュク 混合比

TYPE	砂	石粉	777
A	60.4%	21.0%	18.6%
B	54.5%	24.6%	21.5%

最も突き抜け力の大きい雑草に対し種々の実験を行なった。(オ-次、オニ-次実験は教育大学に委託)

(1) 第1次実験 東京都多摩川堤防に繁殖する雑草のうちからB種を選び試験用地に播種し表-1に示すアスファルト混合物のブロックを敷き並べて土から押え、雑目をサンドマッシュクで連続した。

突き抜け実験結果は、表-2に示す如く、マメ科、ツユクサ科および地下茎のないイネ科は厚さ5cm以上の試験体を突き抜けられないが、地下茎のあるイネ科およびトクサ科は突き抜け力が大きく、厚さ5cmの試験体を完全に突き抜けている。

表-2 舗装厚と各種植物の突き抜け実験結果表

植物種別	厚さ2cm	厚さ3cm	厚さ4cm	厚さ5cm	厚さ6cm	厚さ7cm	厚さ8cm	厚さ9cm	厚さ10cm	厚さ11cm	厚さ12cm	厚さ13cm	厚さ14cm	厚さ15cm	厚さ16cm	厚さ17cm	厚さ18cm	厚さ19cm	厚さ20cm
マメ科	2	4	4	6	3	4	0	3	2	4	1	2	2	3	4	3			
ツユクサ科	3	1	1	2	7	2	2	2	3	2	1	2	1	3	2	3			
イネ科	4	0	1	1	5	0	2	0	1	0	2	1	1	1	1	0	2		
トクサ科	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	1	0	0		
無舗装												3	3	3	3	5	5		

(注) 表中の各数字は突き抜けの割合を示す。イネ科の発芽は50%は100%突き抜けている。

(2) 第2次実験 突き抜け力が大きいアシを千葉県五井

海岸から採取し1/2000のWagner potに移植し、その上に腐植式アスコン、サンドマッシュク、サンドアスファルト、アスバトン、およびサルビアシムの各試験体を敷き、突き抜け実験を行なった結果を表-3に示すが、サルビアシム、アスバトンは突き抜けない。

(3) 突き抜け作用による舗装体の挙動 植物の突き抜け作用を受けた舗装体の挙動を明らかにするため、アスファルト試験体内部に白線を設け、オギ(イネ科)の突き抜け過程を観察し、舗装体表面、内部の様態を調査した。

(4) 試験体表面の挙動 試験体表面の動きは図-1に示す如く表面の盛り上がりは始め急速に進み、表面に亀裂が発生してからでは緩慢になる。

(5) 試験体内部の挙動 突き抜け実験中表面の動きが停止した試験体を芽の発芽部で2つに折り、試験体内部にある芽の状態を観察するとともに、その両端を並べて白線の動きの跡を観察した。この試験体は、表面が動き始めてから5日後殆んど停止したものである。観察の結果、オギは試験体との接合に凹みを作ったまま枯死していることを認めた。この枯死の原因は、低気温が2日続いたためアスモルの低湿

表-3 各種舗装体の突き抜け実験結果表

	発芽時期	発芽の3-4日後	発芽の10日後	発芽の20日後	発芽の30日後	発芽の40日後	発芽の50日後	発芽の60日後	発芽の70日後	発芽の80日後	発芽の90日後	発芽の100日後	発芽の110日後	発芽の120日後	発芽の130日後	発芽の140日後	発芽の150日後	発芽の160日後	発芽の170日後	発芽の180日後	発芽の190日後	発芽の200日後	発芽の210日後	発芽の220日後	発芽の230日後	発芽の240日後	発芽の250日後	発芽の260日後	発芽の270日後	発芽の280日後	発芽の290日後	発芽の300日後	発芽の310日後	発芽の320日後	発芽の330日後	発芽の340日後	発芽の350日後	発芽の360日後	発芽の370日後	発芽の380日後	発芽の390日後	発芽の400日後	発芽の410日後	発芽の420日後	発芽の430日後	発芽の440日後	発芽の450日後	発芽の460日後	発芽の470日後	発芽の480日後	発芽の490日後	発芽の500日後	発芽の510日後	発芽の520日後	発芽の530日後	発芽の540日後	発芽の550日後	発芽の560日後	発芽の570日後	発芽の580日後	発芽の590日後	発芽の600日後	発芽の610日後	発芽の620日後	発芽の630日後	発芽の640日後	発芽の650日後	発芽の660日後	発芽の670日後	発芽の680日後	発芽の690日後	発芽の700日後	発芽の710日後	発芽の720日後	発芽の730日後	発芽の740日後	発芽の750日後	発芽の760日後	発芽の770日後	発芽の780日後	発芽の790日後	発芽の800日後	発芽の810日後	発芽の820日後	発芽の830日後	発芽の840日後	発芽の850日後	発芽の860日後	発芽の870日後	発芽の880日後	発芽の890日後	発芽の900日後	発芽の910日後	発芽の920日後	発芽の930日後	発芽の940日後	発芽の950日後	発芽の960日後	発芽の970日後	発芽の980日後	発芽の990日後	発芽の1000日後	発芽の1010日後	発芽の1020日後	発芽の1030日後	発芽の1040日後	発芽の1050日後	発芽の1060日後	発芽の1070日後	発芽の1080日後	発芽の1090日後	発芽の1100日後	発芽の1110日後	発芽の1120日後	発芽の1130日後	発芽の1140日後	発芽の1150日後	発芽の1160日後	発芽の1170日後	発芽の1180日後	発芽の1190日後	発芽の1200日後	発芽の1210日後	発芽の1220日後	発芽の1230日後	発芽の1240日後	発芽の1250日後	発芽の1260日後	発芽の1270日後	発芽の1280日後	発芽の1290日後	発芽の1300日後	発芽の1310日後	発芽の1320日後	発芽の1330日後	発芽の1340日後	発芽の1350日後	発芽の1360日後	発芽の1370日後	発芽の1380日後	発芽の1390日後	発芽の1400日後	発芽の1410日後	発芽の1420日後	発芽の1430日後	発芽の1440日後	発芽の1450日後	発芽の1460日後	発芽の1470日後	発芽の1480日後	発芽の1490日後	発芽の1500日後	発芽の1510日後	発芽の1520日後	発芽の1530日後	発芽の1540日後	発芽の1550日後	発芽の1560日後	発芽の1570日後	発芽の1580日後	発芽の1590日後	発芽の1600日後	発芽の1610日後	発芽の1620日後	発芽の1630日後	発芽の1640日後	発芽の1650日後	発芽の1660日後	発芽の1670日後	発芽の1680日後	発芽の1690日後	発芽の1700日後	発芽の1710日後	発芽の1720日後	発芽の1730日後	発芽の1740日後	発芽の1750日後	発芽の1760日後	発芽の1770日後	発芽の1780日後	発芽の1790日後	発芽の1800日後	発芽の1810日後	発芽の1820日後	発芽の1830日後	発芽の1840日後	発芽の1850日後	発芽の1860日後	発芽の1870日後	発芽の1880日後	発芽の1890日後	発芽の1900日後	発芽の1910日後	発芽の1920日後	発芽の1930日後	発芽の1940日後	発芽の1950日後	発芽の1960日後	発芽の1970日後	発芽の1980日後	発芽の1990日後	発芽の2000日後	発芽の2010日後	発芽の2020日後	発芽の2030日後	発芽の2040日後	発芽の2050日後	発芽の2060日後	発芽の2070日後	発芽の2080日後	発芽の2090日後	発芽の2100日後	発芽の2110日後	発芽の2120日後	発芽の2130日後	発芽の2140日後	発芽の2150日後	発芽の2160日後	発芽の2170日後	発芽の2180日後	発芽の2190日後	発芽の2200日後	発芽の2210日後	発芽の2220日後	発芽の2230日後	発芽の2240日後	発芽の2250日後	発芽の2260日後	発芽の2270日後	発芽の2280日後	発芽の2290日後	発芽の2300日後	発芽の2310日後	発芽の2320日後	発芽の2330日後	発芽の2340日後	発芽の2350日後	発芽の2360日後	発芽の2370日後	発芽の2380日後	発芽の2390日後	発芽の2400日後	発芽の2410日後	発芽の2420日後	発芽の2430日後	発芽の2440日後	発芽の2450日後	発芽の2460日後	発芽の2470日後	発芽の2480日後	発芽の2490日後	発芽の2500日後	発芽の2510日後	発芽の2520日後	発芽の2530日後	発芽の2540日後	発芽の2550日後	発芽の2560日後	発芽の2570日後	発芽の2580日後	発芽の2590日後	発芽の2600日後	発芽の2610日後	発芽の2620日後	発芽の2630日後	発芽の2640日後	発芽の2650日後	発芽の2660日後	発芽の2670日後	発芽の2680日後	発芽の2690日後	発芽の2700日後	発芽の2710日後	発芽の2720日後	発芽の2730日後	発芽の2740日後	発芽の2750日後	発芽の2760日後	発芽の2770日後	発芽の2780日後	発芽の2790日後	発芽の2800日後	発芽の2810日後	発芽の2820日後	発芽の2830日後	発芽の2840日後	発芽の2850日後	発芽の2860日後	発芽の2870日後	発芽の2880日後	発芽の2890日後	発芽の2900日後	発芽の2910日後	発芽の2920日後	発芽の2930日後	発芽の2940日後	発芽の2950日後	発芽の2960日後	発芽の2970日後	発芽の2980日後	発芽の2990日後	発芽の3000日後	発芽の3010日後	発芽の3020日後	発芽の3030日後	発芽の3040日後	発芽の3050日後	発芽の3060日後	発芽の3070日後	発芽の3080日後	発芽の3090日後	発芽の3100日後	発芽の3110日後	発芽の3120日後	発芽の3130日後	発芽の3140日後	発芽の3150日後	発芽の3160日後	発芽の3170日後	発芽の3180日後	発芽の3190日後	発芽の3200日後	発芽の3210日後	発芽の3220日後	発芽の3230日後	発芽の3240日後	発芽の3250日後	発芽の3260日後	発芽の3270日後	発芽の3280日後	発芽の3290日後	発芽の3300日後	発芽の3310日後	発芽の3320日後	発芽の3330日後	発芽の3340日後	発芽の3350日後	発芽の3360日後	発芽の3370日後	発芽の3380日後	発芽の3390日後	発芽の3400日後	発芽の3410日後	発芽の3420日後	発芽の3430日後	発芽の3440日後	発芽の3450日後	発芽の3460日後	発芽の3470日後	発芽の3480日後	発芽の3490日後	発芽の3500日後	発芽の3510日後	発芽の3520日後	発芽の3530日後	発芽の3540日後	発芽の3550日後	発芽の3560日後	発芽の3570日後	発芽の3580日後	発芽の3590日後	発芽の3600日後	発芽の3610日後	発芽の3620日後	発芽の3630日後	発芽の3640日後	発芽の3650日後	発芽の3660日後	発芽の3670日後	発芽の3680日後	発芽の3690日後	発芽の3700日後	発芽の3710日後	発芽の3720日後	発芽の3730日後	発芽の3740日後	発芽の3750日後	発芽の3760日後	発芽の3770日後	発芽の3780日後	発芽の3790日後	発芽の3800日後	発芽の3810日後	発芽の3820日後	発芽の3830日後	発芽の3840日後	発芽の3850日後	発芽の3860日後	発芽の3870日後	発芽の3880日後	発芽の3890日後	発芽の3900日後	発芽の3910日後	発芽の3920日後	発芽の3930日後	発芽の3940日後	発芽の3950日後	発芽の3960日後	発芽の3970日後	発芽の3980日後	発芽の3990日後	発芽の4000日後	発芽の4010日後	発芽の4020日後	発芽の4030日後	発芽の4040日後	発芽の4050日後	発芽の4060日後	発芽の4070日後	発芽の4080日後	発芽の4090日後	発芽の4100日後	発芽の4110日後	発芽の4120日後	発芽の4130日後	発芽の4140日後	発芽の4150日後	発芽の4160日後	発芽の4170日後	発芽の4180日後	発芽の4190日後	発芽の4200日後	発芽の4210日後	発芽の4220日後	発芽の4230日後	発芽の4240日後	発芽の4250日後	発芽の4260日後	発芽の4270日後	発芽の4280日後	発芽の4290日後	発芽の4300日後	発芽の4310日後	発芽の4320日後	発芽の4330日後	発芽の4340日後	発芽の4350日後	発芽の4360日後	発芽の4370日後	発芽の4380日後	発芽の4390日後	発芽の4400日後	発芽の4410日後	発芽の4420日後	発芽の4430日後	発芽の4440日後	発芽の4450日後	発芽の4460日後	発芽の4470日後	発芽の4480日後	発芽の4490日後	発芽の4500日後	発芽の4510日後	発芽の4520日後	発芽の4530日後	発芽の4540日後	発芽の4550日後	発芽の4560日後	発芽の4570日後	発芽の4580日後	発芽の4590日後	発芽の4600日後	発芽の4610日後	発芽の4620日後	発芽の4630日後	発芽の4640日後	発芽の4650日後	発芽の4660日後	発芽の4670日後	発芽の4680日後	発芽の4690日後	発芽の4700日後	発芽の4710日後	発芽の4720日後	発芽の4730日後	発芽の4740日後	発芽の4750日後	発芽の4760日後	発芽の4770日後	発芽の4780日後	発芽の4790日後	発芽の4800日後	発芽の4810日後	発芽の4820日後	発芽の4830日後	発芽の4840日後	発芽の4850日後	発芽の4860日後	発芽の4870日後	発芽の4880日後	発芽の4890日後	発芽の4900日後	発芽の4910日後	発芽の4920日後	発芽の4930日後	発芽の4940日後	発芽の4950日後	発芽の4960日後	発芽の4970日後	発芽の4980日後	発芽の4990日後	発芽の5000日後	発芽の5010日後	発芽の5020日後	発芽の5030日後	発芽の5040日後	発芽の5050日後	発芽の5060日後	発芽の5070日後	発芽の5080日後	発芽の5090日後	発芽の5100日後	発芽の5110日後	発芽の5120日後	発芽の5130日後	発芽の5140日後	発芽の5150日後	発芽の5160日後	発芽の5170日後	発芽の5180日後	発芽の5190日後	発芽の5200日後	発芽の5210日後	発芽の5220日後	発芽の5230日後	発芽の5240日後	発芽の5250日後	発芽の5260日後	発芽の5270日後	発芽の5280日後	発芽の5290日後	発芽の5300日後	発芽の5310日後	発芽の5320日後	発芽の5330日後	発芽の5340日後	発芽の5350日後	発芽の5360日後	発芽の5370日後	発芽の5380日後	発芽の5390日後	発芽の5400日後	発芽の5410日後	発芽の5420日後	発芽の5430日後	発芽の5440日後	発芽の5450日後	発芽の5460日後	発芽の5470日後	発芽の5480日後	発芽の5490日後	発芽の5500日後	発芽の5510日後	発芽の5520日後	発芽の5530日後	発芽の5540日後	発芽の5550日後	発芽の5560日後	発芽の5570日後	発芽の5580日後	発芽の5590日後	発芽の5600日後	発芽の5610日後	発芽の5620日後	発芽の5630日後	発芽の5640日後	発芽の5650日後	発芽の5660日後	発芽の5670日後	発芽の5680日後	発芽の5690日後	発芽の5700日後	発芽の5710日後	発芽の5720日後	発芽の5730日後	発芽の5740日後	発芽の5750日後	発芽の5760日後	発芽の5770日後	発芽の5780日後	発芽の5790日後	発芽の5800日後	発芽の5810日後	発芽の5820日後	発芽の5830日後	発芽の5840日後	発芽の5850日後	発芽の5860日後	発芽の5870日後	発芽の5880日後	発芽の5890日後	発芽の5900日後	発芽の5910日後	発芽の5920日後	発芽の5930日後	発芽の5940日後	発芽の5950日後	発芽の5960日後	発芽の5970日後	発芽の5980日後	発芽の5990日後	発芽の6000日後	発芽の6010日後	発芽の6020日後	発芽の6030日後	発芽の6040日後	発芽の6050日後	発芽の6060日後	発芽の6070日後	発芽の6080日後	発芽の6090日後	発芽の6100日後	発芽の6110日後	発芽の6120日後	発芽の6130日後	発芽の6140日後	発芽の6150日後	発芽の6160日後	発芽の6170日後	発芽の6180日後	発芽の6190日後	発芽の6200日後	発芽の6210日後	発芽の6220日後	発芽の6230日後	発芽の6240日後	発芽の6250日後	発芽の6260日後	発芽の6270日後	発芽の6280日後	発芽の6290日後	発芽の6300日後	発芽の6310日後	発芽の6320日後	発芽の6330日後	発芽の6340日後	発芽の6350日後	発芽の6360日後	発芽の6370日後	発芽の6380日後	発芽の6390日後	発芽の6400日後	発芽の6410日後	発芽の6420日後	発芽の6430日後	発芽の6440日後	発芽の6450日後	発芽の6460日後	発芽の6470日後	発芽の6480日後	発芽の6490日後	発芽の6500日後	発芽の6510日後	発芽の6520日後	発芽の6530日後	発芽の6540日後	発芽の6550日後	発芽の6560日後	発芽の6570日後	発芽の6580日後	発芽の6590日後	発芽の6600日後	発芽の6610日後	発芽の6620日後	発芽の6630日後	発芽の6640日後	発芽の6650日後	発芽の6660日後	発芽の6670日後	発芽の6680日後	発芽の6690日後	発芽の6700日後	発芽の6710日後	発芽の6720日後	発芽の6730日後	発芽の6740日後	発芽の6750日後	発芽の6760日後	発芽の6770日後	発芽の6780日後	発芽の6790日後	発芽の6800日後	発芽の6810日後	発芽の6820日後	発芽の6830日後	発芽の6840日後	発芽の6850日後	発芽の6860日後	発芽の6870日後	発芽の6880日後	発芽の6890日後	発芽の6900日後	発芽の6910日後	発芽の6920日後	発芽の6930日後	発芽の6940日後	発芽の6950日後	発芽の6960日後	発芽の6970日後	発芽の6980日後	発芽の6990日後	発芽の7000日後	発芽の7010日後	発芽の7020日後	発芽の7030日後	発芽の7040日後	発芽の7050日後	発芽の7060日後	発芽の7070日後	発芽の7080日後	発芽の7090日後	発芽の7100日後	発芽の7110日後	発芽の7120日後	発芽の7130日後	発芽の7140日後	発芽の7150日後	発芽の7160日後	発芽の7170日後	発芽の7180日後	発芽の7190日後	発芽の7200日後	発芽の7210日後	発芽の7220日後	発芽の7230日後	発芽の7240日後	発芽の7250日後	発芽の7260日後	発芽の7270日後	発芽の7280日後	発芽の7290日後	発芽の7300日後	発芽の7310日後	発芽の7320日後	発芽の7330日後	発芽の7340日後	発芽の7350日後	発芽の7360日後	発芽の7370日後	発芽の7380日後	発芽の7390日後	発芽の7400日後	発芽の7410日後	発芽の7420日後	発芽の7430日後	発芽の7440日後	発芽の7450日後	発芽の7460日後	発芽の7470日後	発芽の7480日後	発芽の7490日後	発芽の7500日後	発芽の7510日後	発芽の7520日後	発芽の7530日後	発芽の7540日後	発芽の7550日後	発芽の7560日後	発芽の7570日後	発芽の7580日後	発芽の7590日後	発芽の7600日後	発芽の7610日後	発芽の7620日後	発芽の7630日後	発芽の7640日後	発芽の7650日後	発芽の7660日後	発芽の7670日後	発芽の7680日後	発芽の7690日後	発芽の7700日後	発芽の7710日後	発芽の7720日後	発芽の7730日後	発芽の7740日後	発芽の7750日後	発芽の7760日後	発芽の7770日後	発芽の7780日後	発芽の7790日後	発芽の7800日後	発芽の7810日後	発芽の7820日後	発芽の7830日後	発芽の7840日後	発芽の7850日後	発芽の7860日後	発芽の7870日後	発芽の7880日後	発芽の7890日後	発芽の7900日後	発芽の7910日後	発芽の7920日後	発芽の7930日後	発芽の7940日後	発芽の7950日後	発芽の7960日後	発芽の7970日後	発芽の7980日後	発芽の7990日後	発芽の8000日後	発芽の8010日後	発芽の8020日後	発芽の8030日後	発芽の8040日後	発芽の8050日後	発芽の8060日後	発芽の8070日後	発芽の8080日後	発芽の8090日後	発芽の8100日後	発芽の8110日後	発芽の8120日後	発芽の8130日後	発芽の8140日後	発芽の8150日後	発芽の8160日後	発芽の8170日後	発芽の8180日後	発芽の8190日後	発芽の8200日後	発芽の8210日後	発芽の8220日後	発芽の8230日後	発芽の8240日後	発芽の8250日後	発芽の8260日後	発芽の8270日後	発芽の8280日後	発芽の8290日後	発芽の8300日後	発芽の8310日後	発芽の8320日後	発芽の8330日後	発芽の8340日後	発芽の8350日後	発芽の8360日後	発芽の8370日後	発芽の8380日後	発芽の8390日後	発芽の8400日後	発芽の8410日後	発芽の8420日後	発芽の8430日後	発芽の8440日後	発芽の8450日後	発芽の8460日後	発芽の8470日後	発芽の8480日後	発芽の8490日後	発芽の8500日後	発芽の8510日後	発芽の8520日後	発芽の8530日後	発芽の8540日後	発芽の8550日後	発芽の8560日後	発芽の8570日後	発芽の8580日後	発芽の8590日後	発芽の8600日後	発芽の8610日後	発芽の8620日後	発芽の8630日後	発芽の8640日後	発芽の8650日後	発芽の8660日後	発芽の8670日後	発芽の8680日後	発芽の8690日後	発芽の8700日後	発芽の8710日後	発芽の8720日後	発芽の8730日後	発芽の8740日後	発芽の8750日後	発芽の8760日後	発芽の8770日後	発芽の8780日後	発芽の8790日後	発芽の8800日後	発芽の8810日後	発芽の8820日後	発芽の8830日後	発芽の8840日後	発芽の8850日後	発芽の8860日後	発芽の8870日後	発芽の8880日後	発芽の8890日後	発芽の8900日後	発芽の8910日後	発芽の8920日後	発芽の8930日後	発芽の8940日後	発芽の8950日後	発芽の8960日後	発芽の8970日後	発芽の8980日後	発芽の8990日後	発芽の9000日後	発芽の9010日後	発芽の9020日後	発芽の9030日後	発芽の9040日後	発芽の9050日後	発芽の9060日後	発芽の9070日後	発芽の9080日後	発芽の9090日後	発芽の9100日後	発芽の9110日後	発芽の9120日後	発芽の9130日後	発芽の9140日後	発芽の9150日後	発芽の9160日後	発芽の9170日後	発芽の9180日後	発芽の9190日後	発芽の9200日後	発芽の9210日後	発芽の9220日後	発芽の9230日後	発芽の9240日後	発芽の9250日後	発芽の9260日後	発芽の9270日後	発芽の9280日後	発芽の9290日後	発芽の9300日後	発芽の9310日後	発芽の9320日後	発芽の9330日後	発芽の9340日後	発芽の9350日後	発芽の9360日後	発芽の9370日後	発芽の9380日後	発芽の9390日後	発芽の9400日後	発芽の9410日後	発芽の9420日後	発芽の9430日後	発芽の9440日後	発芽の9450日後	発芽の9460日後	発芽の9470日後	発芽の9480日後	発芽の9490日後	発芽の9500日後	発芽の9510日後	発芽の9520日後	発芽の9530日後	発芽の9540日後	発芽の9550日後	発芽の9560日後	発芽の9570日後	発芽の9580日後	発芽の9590日後
--	------	----------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

硬化がオギの成長を妨げたものと思われる。図-2に供試体内部挙動(白線の動き)を示す。

(1) 気温と供試体温度 供試体挙動観察と並行して気温と供試体温度を測定した結果を表-4に示す。気温20℃以上の場合には晴(日照)であり、20℃以下の場合には曇天である。植物の成長は気温0℃~20℃以上の場合に限って伸長し、20℃以下になると伸長の停止が認められたため突き抜け所要時間は気温20℃以上または供試体表面温度30℃以上の累計時間であると考えられる。このことから突き抜け実験中に於ける供試体表面温度30℃以上の累計時間は約108時間程度であると考えられる。

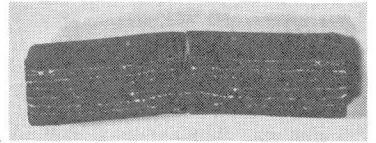


図-2 白線による供試体内部挙動

表-4 気温 供試体温度測定法

日	4/5	4/12	4/21
気温	21℃	11℃	25℃
供試体表面温度	30.9℃	11℃	36℃
供試体内部温度	21℃	11℃	25℃

(4) 突き抜け力の測定 植物が土中から発芽する場合、芽の先端に触れる障害物を押し上げて発芽する。この押し上げ力は植物の細胞膨圧によるもので、一般に $T(\text{膨圧}) = S(\text{吸水力}) - O(\text{浸透圧})$ の関係がある。しかしその大きさの測定は、繁雑であるため芽の先端に荷重受器を取り付け、芽が伸長を続ける間は受器に荷重を増加させ、成長が停滞するまでこれを続ける方法で押し上げ力を測定した。この結果を図-3に示す。これから植物の成長が停滞する荷重、すなわち押し上げ力 $P = 126g$ である。

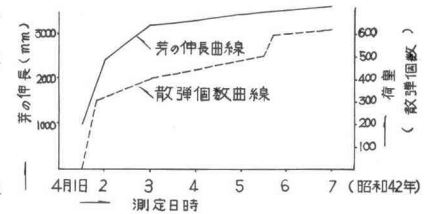


図-3 成長力測定結果図

(5) 考察 以上の各実験結果から植物が「アスファルト系舗装」を突き抜ける挙動について次の如く考える。混合物の底面に接した植物は126gの押し上げ力が働く。一方押し上げ作用を受けたアスファルト舗装体は太陽の輻射熱で25~35℃に温められ、合材自体の粘着力が低下し、植物の芽で押し上げ作用を受けている底面を局部的に圧縮して凹む。更に植物の伸長が進むと凹みもこれに伴って大きくなり、或る機以上になると舗装表面に盛り上がりが生ずる。この盛り上がりが益々大きくなるとアスファルト舗装の変形-抵抗力の均衡が破れ、亀裂が発生する。このようにして植物は漸次上方へと伸長するが、舗装体の亀裂に達するとその裂け目を縫って大気中に出、更に横方向に細胞が成長し、アスモルを圧縮しながら茎を大きくする。突き破られたアスモルは自重で漸次下方に沈下し、地表面の形、すなわち発芽前の形に戻る。そのため最終状態は恰も *punching* によって突き抜けた如く見える。これが突き抜け挙動である。

Ⅲ. 人工植物実験 対草性実験は発芽時期によって制約を受けるため四季を通じて実験し得るとともに、突き抜け力を定量的に測定し得る方法として突き抜け機械を考案し、これを人工植物とした。



図-4 人工植物の説明図

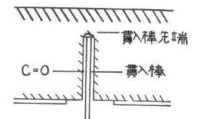


図-5 貫入棒の縦断面

(1) 人工植物 装置の概要は図-4に示す通りであって、貫入棒が一定の押し上げ力で供試体に貫入するもので、試験温度を一定に保つことができる。また突き抜け量を自動的に記録し得るよう装備してある。貫入棒は図-5に示す如く、先端以外の側面に附着力が働かないように、すなわち $C=0$ となるように配慮した。これを植物実験からみて成長植物の側面は定位置に固定し、成長発附近のものが伸長して先端に大半の抵抗力がかかることを認めたのである。

(2) 突き抜け実験 実際の植物が突き抜け現象を生ずるアスファルト舗装体温度は25～30℃であることから、突き抜け実験は25, 30, 40℃の各温度について実施し、突き抜けに要する最小荷重と突き抜け所要時間を測定した結果を表-5に示す。

(3) 考察 植物の突き抜け機構を工学的に類似させた人工植物の突き抜け実験結果と植物実験結果との対比を表-6に示す。供試体温度25, 30, 40℃における人工植物の実験結果と植物実験結果とは殆んど同一の数値を示すものであり、人工植物によって得られた突き抜け力は、植物の突き抜け力であると考へ得る。よってアスファルト舗装を突き抜ける力は約4.7 kg/cm²～9.0 kg/cm²である。

IV. 理論的解析 植物が突き抜ける力をMeyerhofの塑性平衡の理論より検討する。なお述語、記号は工質工学ハンドブック105, 107の通りである。

(1) 計算上の仮定

(a) 自重に対する仮定 観察の結果によれば、茎の側面にアスファルトが附着していないので、 $C=0$ ------(1)

茎の縦断切用の観察より、植物先端は柔かな毛筆状のもので、突き抜けに因する実体と考へられないので、茎の先端は計算に因する限り直径2Rの水平円形断面と仮定する。ただしこの断面は粗なるものとする。

(b) 混合物の自立高 混合物の温度が30℃で、単位体積重量 $\gamma = 0.002 \text{ kg/cm}^3$ の場合における粘着力は、測定の結果 $C = 0.997 \text{ kg/cm}^2$ であるため、自立高さは $\geq 18 \text{ cm}$ である。従って舗装厚さ $\geq 18 \text{ cm}$ 程度までは自立性があり、静止土圧が作用しないと考へる。 $\therefore P_0 = 0$ ------(2)

また、この高さまでは茎の工部に重さばかりからない。

(c) 仮定 (a), (b)のことから $\gamma = 0$ ------(3)

従って $P_0 = S_0 = m = 0$ ------(4)

(2) 帯状基礎の支持力(端部粗)

仮定の結果 $\cos(2\eta + \phi) = 0$, $\eta = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}$, $\therefore \lambda = \frac{\pi}{2} + \beta$ ------(5)

従って $N_c = \cot \phi \left[\frac{(1 + \sin \phi) \exp \left\{ \frac{(\pi + 2\beta) \tan \phi}{1 - \sin \phi} \right\} - 1}{1 - \sin \phi} \right]$ ------(6)

仮定によりQの第2項および第3項が0となるので、 $Q = \gamma \cdot 2R$, $\gamma = C N_c$ ------(7)

また常に $N_c = N_c \cdot \gamma$ ------(8)

(3) Hoop Stress に関する支持力部分 Hoop Stress に関する支持力部分の計算には便宜上 $\phi = 0$ と仮定する。この支持力部分をHとすれば、 $H = \frac{2}{R^2} \int_0^R \sigma_p \cdot r dr$ ------(9)

$$\Delta P = \log_e \frac{1 + \frac{a \cos \theta}{\cos \eta}}{1 - \frac{a}{\sqrt{2}}} + \cot(\eta - \beta) \log_e \frac{1 + \frac{a \cos \theta}{\cos \eta}}{1 + a \cos(\eta - \beta)} + \frac{3}{4} \pi + \beta - \eta - \frac{2}{\sqrt{1-a^2}} \left[\tan^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{1-a}}{1-a} \cot \left(\frac{\eta - \beta}{2} \right) \right\} - \tan^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{1-a}}{\sqrt{1-a}} (\sqrt{2} - 1) \right\} \right] \quad (a < 1) \text{------(10)}$$

表-5 人工植物の突き抜け最小荷重と所要時間表

試験温度 舗装温度	貫入棒の先端直径 $\phi = 3.05 \text{ mm}$				貫入棒の先端直径 $\phi = 5.1 \text{ mm}$			
	突き抜け荷重	突き抜け強度	所要時間		突き抜け荷重	突き抜け強度	所要時間	
40℃	188 g	26 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	5 時間		—	—	—	
30℃	681 g	93 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	120 時間		969 g	47 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	108 時間	
25℃	690 g	94 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	144 時間		979 g	48 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	132 時間	

(注) 供試体厚2.4cm, 密度20 %cm³

表-6 植物と人工植物の実験結果の比較表

	植 物	人 工 植 物		
供試体温度	25℃～40℃	25℃	30℃	40℃
突き抜け所要時間	101 分	144 分	120 分	5 分
突き抜け速度	0.4～0.5 $\frac{\text{mm}}{\text{分}}$	0.3 $\frac{\text{mm}}{\text{分}}$	0.3 $\frac{\text{mm}}{\text{分}}$	17 $\frac{\text{mm}}{\text{分}}$
突き抜け力	(126 g)	—	—	—
先端以外に附着	0	0	0	0
供試体表面の盛り上り	両者同じ型状であり表面亀裂状況も同じ			
突き抜け後の状況	両者同じ型状を示す。			

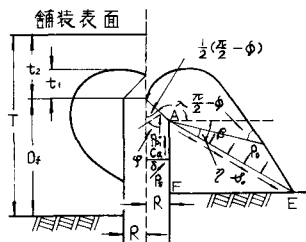


図-6 粗底面の場合の突き抜け係数決定の説明図

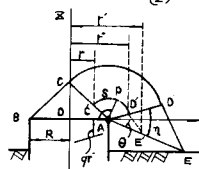


図-7 Hoop Stressの説明図

$a > 1$ については (10) 式の最後の項が次のようになる。

$$-\frac{2}{\sqrt{a^2-1}} \left[\coth^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{a+1}}{\sqrt{a-1}} \cot \left(\frac{\pi-\beta}{2} \right) \right\} - \coth^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{a+1}}{\sqrt{a-1}} (\sqrt{2}-1) \right\} \right] \quad (11)$$

(4) 支持力 支持力度を g_R (kg/cm²) とすれば, (7), (8) 式より

$$g_R = c(N_c + H) \quad (12) \quad \text{ここへ } c: \text{混合物の粘着力}$$

$$\text{支持力 } Q \text{ は } Q = g_R \cdot \pi R^2 \quad (13) \quad \text{ここへ } Q: \text{支持力} = \text{混合物の抵抗力}$$

(5) 支持力度の求め方

根入れ深さ (植物の場合は貫入高) D_f に対して $\frac{D_f}{2R} \sim \phi \sim \beta$ の図表より β を求め, $m=0$ として $\beta-\phi \sim N_c$ の図表より N_c を求め $\frac{D_f}{2R} (= \frac{D_f}{B}) \sim N_{cg} (=N_c)$ の図表より

$$H = (\text{円形基礎の } N_{cg}) - (\text{帯状基礎の } N_{cg}) \quad (14)$$

(6) 突き抜けないための必要厚さ

(a) 端面上の必要厚 基礎底面 (植物の端面) とスベリ面最高部間の垂直高さは, 対数らせんの性質より (5) 式で表わされる。 $t_1 = R \sec \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \sin \left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) \exp \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \tan \phi \quad (15)$

植物先端上の押し抜き剪断より $t_2 = c \cdot 2\pi R \quad (16)$

t_1 と t_2 の何れか大なる方を t とし, t を植物端面上の必要厚さとする。

(b) 支持力の必要厚さ (5) の方法により $D_f \sim Q$ 曲線と $D_f \sim t$ 曲線を作り, その交点から植物の突き抜け力 P を得る。

(c) 合計厚さ (必要厚さ)

$$T = D_f + t \quad (17)$$

(7) 実際との比較 塑性論より誘導した $Q = g_R \cdot \pi R^2$ の式に三軸試験結果から得た c (粘着力) と ϕ (内部摩擦角) を代入して算出した突き抜け力と, 人工植物より実測した突き抜け力とには若干の違いが生ずる。試みに $\phi=0$ とした場合の突き抜け力は実測値と殆んど一致するため, 或いはこの方法で求めることが正しいのかも知れないが, これについては種々検討しなければならない。

V. おわりに

アスファルト舗装の突き抜け力について植物実験から人工植物実験および理論的解析を進めてきたが, さきに述べた如く実測値と理論値とに若干の違いが生じた。この理由については次のように考えられる。

- (a) 植物の突き抜け速度が 0.5 mm/分 と大変ゆっくりしている。
- (b) アスファルト舗装が突き抜けを許す温度は粘弾性領域である。
- (c) 突き抜けはアスファルト混合物の骨材粒径に密関係がある。

従って突き抜け力の理論的解析には Rheological な展開によって進めることが正しいように思われるので更にこの方向について検討を進めていきたいと思う次第である。

最後に本研究の第1次, 第2次実験に対しては東京教育大学農学部教授 松田俊正博士, 黒石敬教員に, また植物細胞等に關しては東京農工大学教授 田崎忠良博士, 牛島忠広教員の御指導を賜りました。ここに心から感謝の意を捧げます。