

산정방법에 따른 단말뚝의 지지력 비교연구

A Comparative Study on Bearing Capacity of Single Pile Based on Calculation Method

이 영 대* · 심 재 현**
Lee, Young Dai · Sim, Jea Hyeon

Summary

Pile load test is good for estimating pile bearing capacity, but using this method is limited by time and cost required. Dynamic and static method is more convenient and economical, but confidence of estimated value by dynamic and static method are lower than that of pile load test.

After being compared pile bearing capacity data obtained from pile load test with those of other two methods, the results from this study were summarised as follows.

For allowable bearing capacity values greater than 175t per pile, bearing capacity acquired from static method was higher than that acquired from pile load test, whereas bearing capacity acquired from pile load test was higher than that acquired from static method for values under 175 per pile.

It was that variance of bearing capacity was large when bearing capacity obtained by dynamic method was higher than 250t. Also bearing capacity based on dynamic method was higher than that based on pile load test. Allowable bearing capacity get from dynamic method suggested that carefull precautions are necessary in application for allowable bearing capacity values higher than 250ton per pile.

I. 서 론

국내에서는 연간 약 300만 톤의 기성콘크리트 말뚝과 26만 톤의 강관말뚝이 사용되는 것으로 알려져 있다. 말뚝기초의 시공물량은 사

회 간접자본의 확대와 더불어 점차 증가될 전망이며 향후 건설현장이 일반적으로 과거에 비하여 열악한 지반조건임을 감안할 때²⁾ 말뚝기초의 지지력을 보다 정확하게 구하기 위한 산정방법에 대한 기술보완이 요구되고 있

* 부경대학교 토목공학과
** 부경대학교 산업대학원

키워드 : Bearing capacity, Pile load test, Dynamic method, Static method

다. 또한, 말뚝기초의 설계 및 시공을 위해서 필수적으로 요구되는 지지력 예측은 산정방법에 따라 설계의 안전성 및 경제성이 좌우될 수 있다. 말뚝지지력 예측의 불확실성은 우리나라뿐만 아니라 외국에서도 문제되어 많은 선진국에서는 일정 규모의 말뚝시공시 재하시험의 실시를 의무화하고 있다. 일례를 들면 Canada에서는 말뚝 250본당 1회 이상의 말뚝재하시험이 규정되어 있다.¹⁷⁾

지지력에 대한 여러가지 연구결과에 의하면 말뚝의 선단지지력은 토사의 전단특성, 압축 특성, 관입깊이, 응력조건, 응력수준, 흠입자의 강도, 입자의 배열상태, 말뚝시공후의 시간경과 등 다양한 요소들의 영향을 받는 것으로 알려졌다.¹⁶⁾

송영우는 모래지반의 모형인장말뚝에 대한 거동에서 지반의 상대밀도, 응력이력, 말뚝의 표면상태, 매설깊이, 직경이 상향력을 받는 말뚝의 거동에 미치는 영향을 연구하였다.¹²⁾ Ramey, G. E. 등은 Hiley 공식이 Engineering News 공식보다 신뢰도가 높은 것으로 나타났다.¹⁾ 이명환등은 풍화잔류토 지반에 타설된 말뚝의 주변마찰 특성 연구에서 풍화잔류토 지반에서의 SPLT(Simple Pile Loading Test) 결과를 분석하여 말뚝주면 마찰력을 N 값에 의하여 계산할 수 있는 관계식을 도출하였으며,²⁰⁾ 홍헌성등은 강관말뚝의 시공사례에서 국내의 항타말뚝기초 설계와 시공은 WEAP(Wave Equation Analysis for Pile) 해석에 의한 항타과정 재현으로 여러 사례들을 분석한 결과 전반적으로 항타장비의 용량이 부족한 것으로 나타났다.²¹⁾ 이인모등은 하중방향(압축-인발)과 말뚝직경이 말뚝의 지지력에 미치는 영향에 관한 연구에서 모형토조를 이용하여 실내모형실험으로 간편한 말뚝재하시험이 가지고 있는 문제를 해결하고자 하였다.¹⁸⁾

말뚝재하시험은 지지력을 산정하는 방법에서 신뢰성이 높은 장점이 있음에도 불구하고

시간과 경비가 많이 소요되는 문제점이 있어, 실제 시행에 있어서는 제한적이 될 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 비교적 간단한 방법이면서도 많이 사용되고 있는 동역학 및 정역학적 방법에 의한 지지력과 재하시험에 의하여 산정된 지지력을 비교 연구하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 자료 조사 방법

본 연구에서는 지지력의 상호관계를 비교하기 위하여 재하시험과 항타시험이 동시에 시행된 현장의 실측자료를 수집하였으며, 기실시된 시험자료로서 비교적 많은 재하시험 자료가 있는 광양제철 현장과 기타 여러 현장에서 실측된 자료로써 지지력을 비교하였으며, 자료조사 방법은 Fig. 1과 같다.

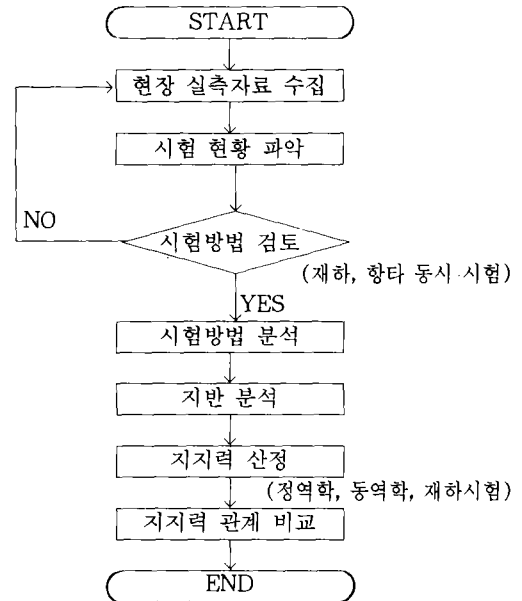


Fig. 1. Flow chart

2. 자료수집

자료수집을 실시한 지역은 전라남도 광양시

에 건설된 광양제철소와 경상남도와 부산 일대의 비교적 대형현장으로서 공법변경과 말뚝 기초의 지지력이 설계에서 요구하는 지지력을 갖는지를 실측한 현장시험결과에 대한 자료를 수집하였다. 이러한 자료들을 A지역의 7개 구역과 B지역의 8개구역에서 수집하였다.

가. A 지역

같은 조건에 의해 동일지역에서 실측된 자료로서, 기초말뚝에 대한 기본사양을 합리적으로 결정하기 위하여 1984년 1월 5일부터 1984년 12월 31일까지 실시된 기초말뚝 재하시험의 결과이다. 이 시험의 목적은 상부구조의 설계하중과 토질특성에 적합한 기초말뚝의 제원 및 허용지지력과 연약지반에서 Negative Friction을 고려한 Pile의 개발여부와 방법, 항타시방등을 합리적으로 결정하는 현장시험으로서 재하시험결과는 Table-1에 나타냈다.

A 지역의 지반자료는 다음과 같다.

Table-1. Pile load test method and pile type of A area

Test area	Pile type	Test method
1st installation	D ST. 406.4×9.5	반력말뚝, 실하중 병용방식, 多 Cycle 재하
	D ST. 406.4× 9.5	
	D ST. 711.2×12.7	
	E ST. 406.4×9.5	
	E ST. 558.8×9.5	
2nd installation	A RC 350	반력말뚝, 실하중 병용방식, 多 Cycle 재하
	A RC 400	
	D ST. 711.2× 9.5	
	B ST. 508.0× 9.5	
	G ST. 406.4.9× 7.9 RC 400	

* ST(Steel pile) : D(mm)×t(mm)

* RC(Reinforced Concrete pile) : D(mm)

1) A 구역

상부층은 대부분 Silty sand 및 Sand가 최대 19.4m, 최소 2.5m 두께로 분포되어 있으며 부분적으로 상부 점성토층이 좁게 분포한다. 중간층은 Silty clay 및 Clayey silt가 최대 17.2m 두께로 분포하고 하부층은 Sand gravel이 최대 12.8m 두께로 분포하고 부분적으로 Sand gravel 상부에 Sand와 하부에 Silty clay가 사이에 끼여 있다.

2) B 구역

상부층은 Silty sand 및 Sand가 최대 14.8m, 최소 6.2m 두께로 분포되어 있으며, 상부 점성토층이 없고 중간층의 Silty clay 및 Clayey silt도 부분적으로 분포되어 있다. 하부층의 분포는 거의 없는 상태로 부분적으로 Silty clay 및 Clayey silt가 기반 상부에 약 1.1m 두께로 분포되어 있다.

3) C 구역

상부층은 Silty sand 및 Sand가 최대 16.2m, 최소 4.0m의 두께로 분포되어 있으며, 상부 점성토층은 부분적으로 분포되고 그 두께는 약 1.6m이다. 중간층은 Silty clay 및 Clayey silt가 최대 19.0m, 최소 10.2m 두께로서 그 층 두께가 두꺼우며, 중간 사질토층의 분포는 거의 없다. 하부층은 Sand gravel 및 Boulder가 최대 15.8m 두께로 분포하고 부분적으로 Sand gravel 상부내 Sand와 하부내 Silty clay가 사이에 끼여 있다.

4) D 구역

상부층은 Silty sand 및 Sand가 최대 11.7m, 최소 2.1m 두께로 분포되어 있으며, 상부 점성토층이 부분적으로 사이에 끼여 있다. 중간층은 Silty clay 및 Clayey silt가 최대 20.2m, 최소 3.9m 두께로서 그 층두께가 두꺼운 편이며, 중간 사질토층은 좁게 분포되어 있다. 하부층은 거의 없는 상태로서 부분적으로 Sand 1.2m, Sand gravel 13.5m, Silty clay 2.5~1.3m 두께로 분포되어 있다.

5) E 구역

상부층은 Silty sand 및 Sand가 최대 12.4m 평균 5.5m 두께로서 전반적으로 고르게 분포되어 있으며, 상부 점성토층은 부분적으로 넓은 층이 좁게 분포되어 있다. 중간층은 Silty clay 및 Clayey silt가 최대 16.2m 두께로 분포되어 있으며, 중간 사질토층은 부분적으로 넓은 층이 좁게 분포되어 있다. 하부층의 분포는 Sand, Sand gravel층이 없으며, Silty clay는 부분적으로 이어지고 있다.

6) F 구역

상부층은 Silty sand 및 Sand가 최대 10.7m 최소 1.80m 두께로 전반적으로 그 두께가 적으며, 상부 사질토층이 없는 곳에서는 상부 점성토층에서 바로 하부에 이어진다. 중간층은 Silty clay 및 Clayey silt가 최대 19.0m 최소 2.1m 두께로 분포되어 있으며, 중간 사질토층은 부분적으로 분포하고 있다. 하부층은 Sand, Sand gravel층이 부분적으로 사이에 끼여 있고, 하부 점성토층은 부분적으로 좁게 분포되어 있다.

7) G 구역

상부층의 Silty sand 또는 Sand 또는 최대 10.7m, 평균 7.5m로 전반적으로 그 두께가 두꺼운 편이다. 중간층은 Silty clay 및 Clayey silt가 최대 23.7m, 평균 17.8m 두께로서 그 층 두께가 두꺼운 편이다. 하부층은 Sandy gravel이 최대 8.5m, 평균 3.1m 두께로 분포되어 있으며 하부 사질토 및 점성토층은 거의 없는 편이다.

나. B 지역

조건이 다른 여러지역에서 실측된 자료로서 시험기간은 1991년 8월부터 1995년 12월까지 실시된 현장시험 결과이며, 재하시험결과는 Table-2에 나타났다.

B 지역의 지반자료는 다음과 같다.

1) H 구역

Table-2. Pile load test method and pile type of B area

Test area	Pile type	Test method
H	ST. 812.8×16	반력말뚝, 실하중병용방식, 多 Cycle 재하
I	ST. 812.8×12	
J	ST. 800 ×12	
K	ST. 609.6×12	
L	PHC. 600×10	
	ST. 508 ×10	
M	ST. 457.2×10	
	PHC. 400×12	
O	PHC. 300×12	

* PHC(Prestressed spun High strength Concrete pile) : D(mm)×t(mm)

실트질 모래와 실트질 점토층으로 이루어져 있으며, 전반적으로 N치가 10미만인 지역이 대부분이고 약 33m 심도에서부터 N=16정도인 실트질 모래가 분포하고 있다.

2) I 구역

실트섞인 세립의 모래와 실트질 점토층으로 이루어져 있으며, 전반적으로 N치가 3~17이고, 약 32m 심도에서부터 N=16정도인 실트질 모래가 나타나고 모래섞인 자갈층이 분포하고 있는 지반이다.

3) J 구역

실트질 모래층 51m 아래에 자갈층이 약 8m 있고 그 아래가 굳은 풍화대가 있으며, 일부지역은 36.5m아래에 11m정도의 자갈층이 있고 4.5m정도의 모래층과 1m정도의 자갈층 아래에 굳은 풍화대가 있다.

4) K 구역

부산지하철 201공구 건설공사에 사용될 말뚝기초에 대한 지지력을 측정하여 시공에 필요한 pile의 지지력을 산정한 결과이다.

5) L 구역

지질주상도에서 1~24m까지는 연약한 실트질 모래 및 점토층이고 24m이하는 단단한 암으로 구성되어 있다.

6) M 구역

낙동강과 양산천이 합류하는 평탄지로서

상부로부터 이송된 토사의 퇴적층이 두텁게 형성된 지층으로서, 두께 1.50~2.00m의 매립층이 지표면에 형성되어 있고, 그 하부에는 N=1~5인 느슨한 실트질 모래층이 두께 4.80~8.00m까지, 그 하부에는 N=0~1인 실트질층이 두께 16.70~21.80m로 다소 깊게 형성되어 있으며, 그 하부에는 N=20~50인 단단하고 치밀한 모래, 자갈층이 지표하 42.0~51.60m까지 형성되어 있다.

7) N 구역

원지반선에서 약 4m가량 표토층을 걷어내고 지반을 정지한 상태에 있고, 아파트 기초가 놓이는 지층의 상태는 7.2~23.5m에 암반선이 있는 것을 알 수 있고, 14.4m~23.5m에 기반암이 있는 것으로 나타났다.

8) O 구역

기반암은 백악기 유천층군 유문암이 지표하 8.3~12.20m 두께로 형성되어 있고, 풍화암은 실트질모래화 양상을 띄며, 절리 및 균열이 다소 발달되어 있다.

III. 지지력 산정 및 분석

1. 지지력 산정방법

정역학적 지지력 산정방법은 Dörr, Terzaghi, Meyerhof, Dunham등 여러 가지 방법이 있으나, 본 연구에서는 현장에서 많이 사용되고 있는 Meyerhof식에 의해서 산정하였고, 동역학적 지지력 산정방법은 Hiley, Weisbach, Wellington(Engineering News), Terzaghi, Sander등 많은 식이 있으나 Meyerhof식과 마찬가지로 현장에서 많이 사용하고 있는 Hiley식을 적용하였다.

말뚝재하시험에 대한 지지력은 실제 시공된 말뚝에 직접하중을 재하하는 일종의 실물재하시험으로서 말뚝기초지지력 산정방법들중 가장 신뢰할 수 있는 방법이며, 연직재하시험에 의한 방법으로 지지력을 산정하였다.

2. 지지력 산정 결과

광양제철소와 부산, 경남 일대에서 실측된 시험 자료로부터 지지력을 산정한 결과를 정리하면 Table-3 및 Table-4와 같다.

Table-3. Pile bearing capacity of A area

Test area	Pile diameter (mm)	Ultimate bearing capacity(t)		
		Static method (Meyerhof)	Dynamic method (Hiley)	Pile load test
D	914.4	1,482(494)	1,209(403)	913(456)
D	711.2	906(302)	891(297)	640(320)
E		888(296)	1,011(337)	593(296)
A	558.8	633(211)	774(258)	430(215)
B		507(169)	1,164(388)	413(206)
C		519(173)	807(269)	450(225)
D		597(199)	753(251)	445(222)
E		510(170)	1,395(465)	400(200)
F		579(193)	1,062(354)	462(231)
G		525(175)	948(316)	380(190)
A	508	528(176)	762(254)	430(215)
C		462(154)	681(227)	423(211)
D		426(142)	876(292)	430(215)
C	406.4	342(114)	516(172)	312(156)
D		321(107)	720(240)	360(180)
G		339(113)	786(262)	333(166)
F		285(95)	441(147)	184(92)
A	355.6	207(69)	495(165)	220(110)

※ Pile load test F.S : 2

※ Static method, Dynamic method F.S : 3

※ () : Allowable bearing capacity

3. 지지력 비교분석

가. A 지역 비교분석

정역학 및 동역학적 방법에 의한 지지력과 재하시험에 의한 지지력을 비교하여 상호관계를 분석하였으며, 산정된 극한지지력은 말뚝 규격에 따라 정역학적 방법의 경우 207~1,482t, 동역학적 방법의 경우 441~1,395t, 재하시험은 184~913t의 분포가 나타났다.

Fig. 2는 재하시험과 정역학 및 동역학적

Table-4. Pile bearing capacity of B area

Test area	Pile diameter (mm)	Ultimate bearing capacity(t)		
		Static method (Meyerhof)	Dynamic method (Hiley)	Pile load test
H	812.8	1,083(361)	794(264)	602(301)
		1,072(357)	718(239)	504(252)
		1,157(385)	783(261)	533(266)
I	812.8	1,353(451)	952(317)	693(346)
J	800	1,080(360)	842(280)	672(336)
		1,080(360)	786(262)	612(306)
K	606.9	-	465(155)	229(114)
L	600	659(219)	743(247)	360(180)
		548(182)	743(247)	385(192)
M	508	372(124)	434(144)	208(104)
	457.8	385(128)	354(118)	182(91)
N	400	112(37)	296(98)	100(50)
		112(37)	333(111)	100(50)
		170(56)	314(104)	100(50)
O	400	299(99)	440(146)	141(70)
		321(107)	397(132)	127(63)
		297(99)	359(119)	130(65)

※ Pile load test F.S : 2

※ Static method, Dynamic method F.S : 3

※ () : Allowable bearing capacity

방법에 의한 극한지지력을 함께 도시하였으며, 정역학적 방법과 재하시험결과로부터 얻어진 극한지지력으로 다음과 같은 회귀직선식을 얻었다.

$$R_{l-u} = 0.53R_{s-u} + 137.98 \quad \dots\dots\dots (1)$$

R_{l-u} : 재하시험에 의한 극한지지력 (ton)

R_{s-u} : 정역학적 방법에 의한 극한지지력 (ton)

식 (1)의 상관계수는 $\rho=0.969$ 로서 대단히 양호한 관계가 나타났고, 정역학적 방법의 경우 가장 큰 지지력은 기반암 상부지층이 Sand 또는 Sand gravel 층으로 비교적 단단한 지반으로 구성된 D 지역이었다.

동역학적 방법과 재하시험결과로부터 얻어

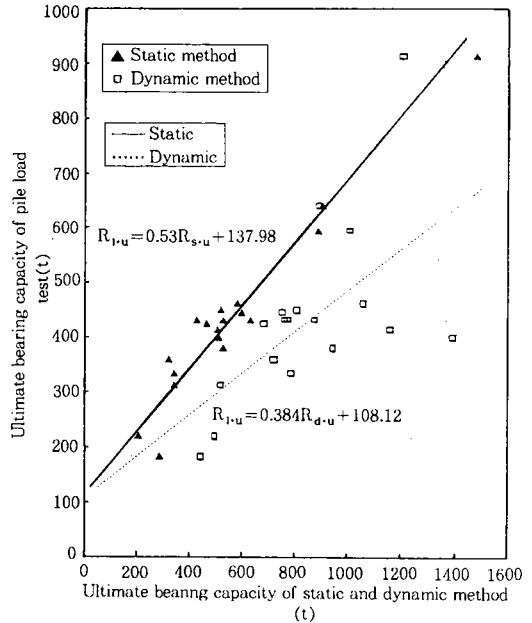


Fig. 2. Utilmate bearing capacity between Static method, Dynamic method and Pile load test of A area

진 극한지지력으로 다음과 같은 회귀직선식을 얻었다.

$$R_{l-u} = 0.384R_{d-u} + 108.12 \quad \dots\dots\dots (2)$$

R_{l-u} : 재하시험에 의한 극한지지력 (ton)

R_{d-u} : 동역학적 방법에 의한 극한지지력 (ton)

식 (2)의 상관계수는 $\rho=0.602$ 로서 식 (1) 보다는 다소 작게 나타났으나 양호한 것으로 판단되며, 특히 Fig. 2의 회귀직선식(2)에서 멀리 떨어져 산재한 점들은 기반암 상부지층이 Silt clay 또는 그보다 더 불량한 지층으로서 연약한 지반상태를 나타내고 있다. 동역학적 방법에 의한 극한지지력이 약 800t 이상일 때 지지력의 분산이 크게 나타났다. 동역학적 방법에 의한 지지력이 정역학적 방법에 의한 지지력보다 더 크게 나타났으며, 식 (2)보다는 식 (1)이 양호한 회귀직선식임을 보여준다.

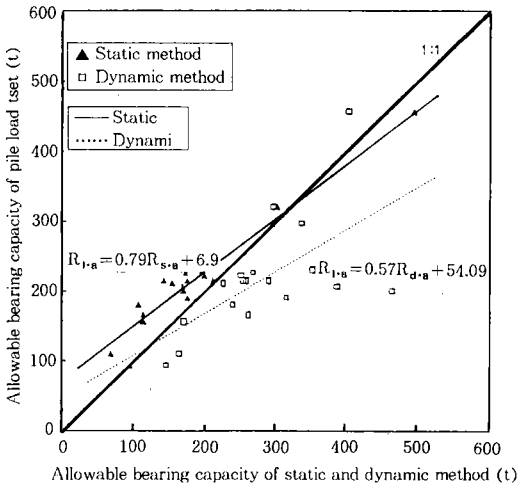


Fig. 3. Allowable bearing capacity between Static method, Dynamic method and Pile load test of A area

Fig. 3은 허용지지력을 함께 도시하였으며, 다음과 같은 회귀직선식을 얻었다.

$$R_{d-a} = 0.79R_{s-a} + 6.9 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R_{d-a} = 0.57R_{s-a} + 54.09 \quad \dots\dots\dots (4)$$

- R_{d-a} : 재하시험에 의한 허용지지력 (ton)
- R_{s-a} : 정역학적 방법에 의한 허용지지력 (ton)
- R_{d-a} : 동역학적 방법에 의한 허용지지력 (ton)

지지력 관계는 정역학적 방법의 경우 재하시험에 의한 지지력이 약 300t이하일 때 재하시험에 의한 지지력이 정역학적 방법에 의한 지지력 보다 더 크게 나타났으며, 재하시험에 의한 지지력이 약 300t이상일 때는 정역학적 방법에 의한 지지력이 재하시험에 의한 지지력 보다 크게 나타났다. 동역학적 방법에 의한 지지력은 재하시험에 의한 지지력보다 더 크게 나타났다.

나. B 지역

기타 여러 지역에서 산정된 극한지지력은

말뚝규격에 따라 정역학적 방법의 경우 112 ~ 1,353t, 동역학적 방법의 경우 296 ~ 952t, 재하시험은 100 ~ 693t의 분포가 나타났다.

Fig. 4는 재하시험과 정역학 및 동역학적 방법에 의한 극한지지력을 함께 도시하였으며, 정역학적 방법과 재하시험 결과로부터 다음과 같은 회귀직선식을 얻었다.

$$R_{l-u} = 0.517R_{s-u} + 14.125 \quad \dots\dots\dots (5)$$

식 (5)의 상관계수는 $\rho = 0.975$ 로서 대단히 양호한 관계가 나타났다. 또, 동역학적 방법과 재하시험 결과로부터 다음과 같은 회귀직선식을 얻었다

$$R_{l-u} = 0.959R_{d-u} - 215.91 \quad \dots\dots\dots (6)$$

식 (6)은 상관계수 $\rho = 0.963$ 으로 매우 양호한 관계가 나타났다. Fig. 4에서 동역학적 극한지지력이 743t일 때 나란한 두 개의 지지력은 L 지역으로서 말뚝하부지층의 N치가 62.7로 매우 단단한 지층이다. N치가 62.7이상인 지역은 회귀직선식보다 다소 큰 지지력이 산정될 것으로 판단된다.

재하시험에 의한 지지력이 약 250t일 때 회귀직선식이 서로 교차되었으며, 재하시험에 의한 지지력이 약 250t이하일 때는 동역학적 방법에 의한 지지력이 정역학적 방법에 의한 지지력 보다 더 크게 나타났으며, 재하시험에 의한 지지력이 약 250t이상일 때는 정역학적 방법에 의한 지지력이 동역학적 방법에 의한 지지력 보다 크게 나타났다.

Fig. 5는 허용지지력을 도시하였으며, 다음과 같은 회귀직선식을 얻었다.

$$R_{l-a} = 0.775R_{s-a} + 7.27 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$R_{l-a} = 1.44R_{d-a} - 107.5 \quad \dots\dots\dots (8)$$

동역학적 방법에 의한 지지력의 경우 재하시험에 의한 지지력이 약 230t이하일 때는 동역학적 방법에 의한 지지력이 재하시험에 의

한 지지력보다 더 크게 나타났으며, 재하시험에 의한 지지력이 약 230t이상일 때는 재하시험에 의한 지지력이 동역학적 방법에 의한 지지력보다 크게 나타났다. 정역학적 방법에 의한 지지력은 재하시험에 의한 지지력보다 더 크게 나타났다.

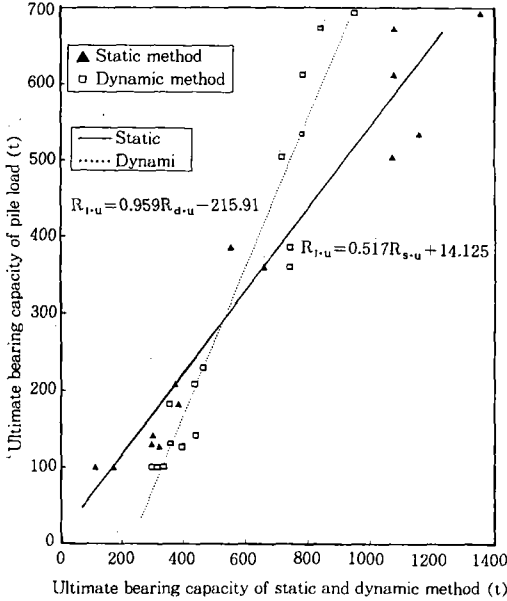


Fig. 4. Ultimate bearing capacity between Static method, Dynamic method and Pile load test of B area

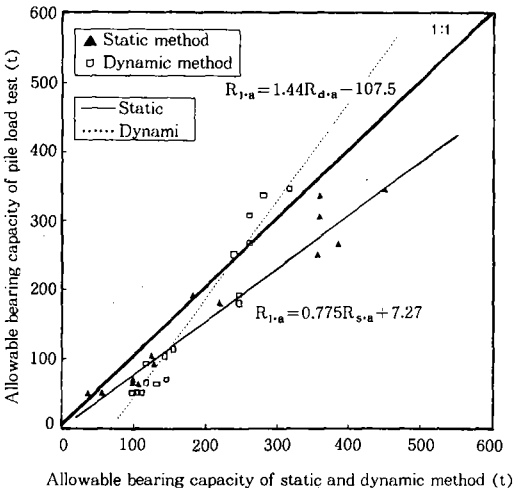


Fig. 5. Allowable bearing capacity between Static method, Dynamic method and Pile load test of B area

다. A, B 지역 종합분석

Fig. 6은 동일한 조건에서 산정된 지지력과 기타 여러 지역에서 산정된 지지력을 함께 도시하였다.

재하시험과 정역학적 방법에 의한 극한지지력을 산정하여 다음과 같은 회귀직선식을 얻었다.

$$R_{t,u} = 0.50R_{s,u} + 92.01 \dots\dots\dots (9)$$

식 (9)의 상관계수는 $\rho = 0.916$ 으로 대단히 양호한 관계가 나타났다.

동역학적 방법과 재하시험에 의한 극한지지

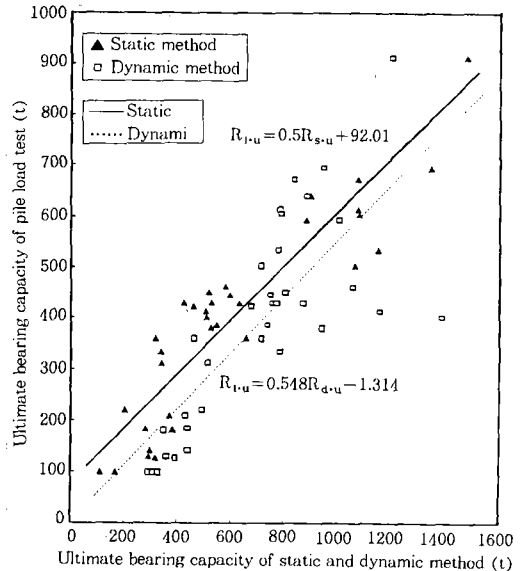


Fig. 6. Ultimate bearing capacity between Static method, Dynamic method and Pile load test

력을 산정하여 아래와 같은 회귀직선식을 얻었다

$$R_{j.u} = 0.548R_{d.u} - 1.314 \quad \dots\dots\dots (10)$$

식 (10)의 상관계수는 $\rho=0.767$ 로, 식 (9)의 상관계수 보다 다소 적게 나타났으나 양호한 것으로 판단되며, 식 (10) 보다는 식 (9)이 양호한 회귀직선식임을 나타내고 있다. 또 동역학적 방법에 의한 극한지지력이 800t이상일 때 지지력의 분산이 크게 나타났다. 재하시험방법에 의한 지지력이 약 200t일 때 정역학적 방법에 의한 지지력은 동일하게 나타났으며, 동역학적 방법에 의한 지지력은 재하시험에 의한 지지력 보다 약 2배 가량 크게 나타났다. 또, 재하시험에 의한 지지력이 약 500t일 때 정역학적 방법에 의한 지지력은 약 1.6배, 동역학적 방법에 의한 지지력은 약 1.84배 가량 크게 나타났다. 또한, 정역학적 방법의 경우는 재하시험에 의한 지지력이 커짐에 따라 지지력의 차이가 크게 나타났다.

재하시험과 정역학 및 동역학적 방법에 의한 허용지지력을 산정하여 다음과 같은 회귀직선식을 얻었다.

$$R_{j.a} = 0.754R_{s.a} + 46 \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$R_{j.a} = 0.84R_{d.a} - 7.023 \quad \dots\dots\dots (12)$$

허용지지력 관계는 Fig. 7에서와 같이 정역학적 방법에 의한 지지력의 경우 재하시험에 의한 지지력이 약 175t이하일 때는 재하시험에 의한 지지력이 정역학적 방법에 의한 지지력보다 크게 나타났으며, 재하시험에 의한 지지력이 약 175t이상일 때는 정역학적 방법에 의한 지지력이 재하시험에 의한 지지력보다 크게 나타났다.

동역학적 방법에 의한 지지력은 재하시험에 의한 지지력보다 크게 나타났다.

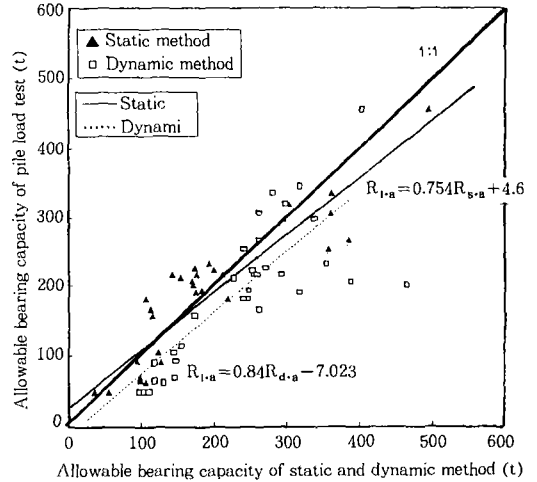


Fig. 7. Allowable bearing capacity between Static method, Dynamic method and Pile load test

IV. 요약 및 결론

재하시험과 항타시험이 동시에 시행된 동일한 지역과 조건이 다른 여러 현장에서 실측된 자료를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 재하시험과 정역학적 방법에 의해 허용지지력을 산정하여 비교분석한 결과 회귀식은 $R_{j.a} = 0.754R_{s.a} + 46$ 으로 표시되고, 상관계수는 $\rho=0.916$ 으로 나타났으며, 지지력이 약 175t/본 이상일 때는 정역학적 방법에 의한 지지력이 재하시험에 의한 지지력 보다 더 크게 나타나고, 약 175t/본 이하일 때는 재하시험에 의한 지지력이 정역학적 방법에 의한 지지력 보다 크게 나타났다.

2. 재하시험과 동역학적 방법에 의해 허용지지력을 산정하여 비교분석한 결과 회귀식은 $R_{j.a} = 0.84R_{d.a} - 7.023$ 으로 표시되고 상관계수 $\rho=0.767$ 로 나타났으며 동역학적 방법에 의한 지지력이 재하시험에 의한 지지력보다 크게 나타났다. 특히, 동역학적 방법에 의한 지지력이 250t/본 이상일 때는 분산이 크게 나타나고 있으므로 동역학적 방법으로 지지력

을 산정할 경우에 허용지지력이 250t/본 이하 일 때는 그대로 적용해도 좋을 것으로 판단되나, 250t/본 이상일 때는 적용에 신중을 기해야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Ramey, G. E., and Johnson, R. C., (1979), "Relative accuracy and modification of some dynamic pile capacity prediction equations", Ground Engineering, Vol. 12, September, pp.47~52 (1979).
2. POSCO, (1993), "강관말뚝 설계와 시공 강재이용 기술집(I)", pp. 1~382.
3. 고려 기초 연구소, (1995), "녹산공단 진입도로 현장 말뚝 재하시험 보고서", pp. 1~46.
4. 고려 기초연구소, (1995), "녹산공단 진입도로 현장 말뚝수평 재하시험 보고서", pp. 25~30.
5. 김수택, (1993), "교양 통계학", 형설출판사, pp. 213~238.
6. 김영희, 이영해, (1996), "최신 공업통계학", 청문각, pp. 339~407.
7. 대한 토목학회 부산 경남 지부, (1991), "구포대교 파일재하시험 보고서", pp. 1~104.
8. 박용원, (1992), "말뚝기초 강좌", 한국지반공학회지, 제8권 제3호, pp. 117~124.
9. 부산 공업 대학교 지역개발 연구소, (1993), "해운대 경동아파트 기초파일 지지력검토 최종 보고서", pp. 93~161.
10. 삼성 건설(주)중앙시험실, (1995), "부산 삼성 승용차 공장 신축 현장 말뚝재하시험 3차 보고서", pp. 1~690.
11. 삼성건설(주)기술 연구소, (1995), "부산 신호대교 시항타말뚝 재하시험 결과 보고서", pp. 1~169.
12. 송영우, (1992), "모래지반에서 모형 인장말뚝의 거동", 한국지반공학회지, 제7권, 제2호, pp. 5~22.
13. 옥치남 Geotech 연구소, (1994), "양산군 동면 금산리 양산 하수 처리장 건설공사 기초 말뚝 재하시험 시험 결과 보고서", pp. 1~59 (1994).
14. 옥치남 Geotech 연구소, (1995), "수영구 민락동 민락·진로 아파트 신축 공사 기초 말뚝 재하시험 결과 보고서", pp. 1~64 (1995).
15. 옥성 지하개발(주), (1994), "부산 지하철 201공구 건설공사 파일 재하시험 보고서", pp. 1~25.
16. 이명환, 이장덕, (1989), "말뚝기초의 설계 및 시공관리 개선 방안", 한국 건설 기술 연구원 보고서, GE-113, pp. 1~260.
17. 이명환, 김대영, 윤성진, 이상현, (1991), "하중 작용 방향(압축과 인발)과 말뚝의 직경이 말뚝 지지력에 미치는 영향", 대한 지반공학회지, 제7권 제3호, pp. 51~61.
18. 이인모, 이명환, 백세환, 김동현, 이정학, (1992), "하중방향(압축-인발)과 말뚝직경이 말뚝의 지지력에 미치는 영향에 관한 연구", 한국지반공학회지, 제8권, 제3호, pp. 13~20.
19. 이인모, (1994), "기성 말뚝의 시공 관리와 지지력 추정 방법", 토지 개발 공사 토지 개발 기술 특집, pp. 28~29.
20. 이명환, 박용원, 이인무, 김대영, 윤성진, 이상현, (1992), "풍화잔류토 지반에 타설된 말뚝의 주변마찰 특성 연구", 한국지반공학회지, 제8권, 제1호, pp. 21~28.
21. 이명환, 홍헌성, 이원제, (1994), "강관말뚝의 시공사례", 한국강관협회, 대한토목학회주최 강관말뚝 및 구조용 강관에 관한 세미나, pp. 47~85.
22. 이명환, (1995), "말뚝 기초의 최적 설계", 건설기술교육원, pp. 1~39.
23. 포항 종합 제철(주), (1984), "광양 제철소 기초항 항타 및 재하 시험 보고서", pp. 1~677.

(접수일자 : 1997년 1월 21일)